

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ANÁLISE ESPACIAL DAS TAXAS DE MORTALIDADE
POR ATROPELAMENTO DOS MUNICÍPIOS PAULISTAS
UTILIZANDO FERRAMENTAS DE ESTATÍSTICA ESPACIAL**

ANA CRISTINA MAURÍCIO FERREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr.

São Carlos

2008

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

F383ae

Ferreira, Ana Cristina Maurício.

Análise espacial das taxas de mortalidade por atropelamento dos municípios paulistas utilizando ferramentas de estatística espacial / Ana Cristina Maurício Ferreira. -- São Carlos : UFSCar, 2008.

141.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2007.

1. Acidentes de trânsito. 2. Estatística espacial. 3. Atropelamento. 4. Análise espacial (Estatística). 5. Sistemas de informação geográfica. I. Título.

CDD: 363.125 (20ª)



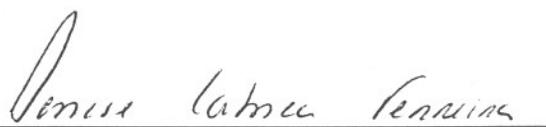
FOLHA DE APROVAÇÃO

ANA CRISTINA MAURÍCIO FERREIRA

Dissertação defendida e aprovada em 30/11/2007
pela Comissão Julgadora



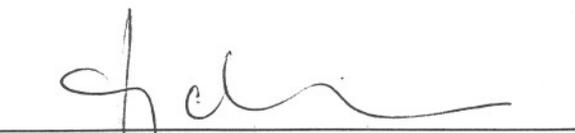
Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr
Orientador (DECiv/UFSCar)



Prpfª Drª Denise Labrea Ferreira
(IG/UFU)



Prof. Dr. Sérgio Antonio Rohm
(DECiv/UFSCar)



Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr.
Presidente da CPG-EU

Um ao outro ajudou, e ao seu companheiro disse: Esforça-te.

ISAIAS, 41:6

*Ao meu pai, Antonio,
às minhas sobrinhas Júlia e Maria Isabel,
com amor e saudade,
dedico este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Meu primeiro agradecimento é feito a Deus, pela vida e por toda força que necessitei e obtive durante o desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço ao meu querido esposo Eli pela ajuda, incentivo e companheirismo no decorrer do mestrado e às minhas filhas Beatriz e Juliana.

Ao meu pai Antonio, que sempre apoiou os meus sonhos, incentivou meus estudos, mas não pode ver a conclusão desta etapa de minha vida.

À minha mãe Inês, de forma especial, responsável pela minha educação e pela minha formação, agradeço por todo tempo, carinho e amor a mim dedicados.

À minha cunhada Carmem pela ajuda com a língua espanhola, aos meus irmãos e familiares, por todo o apoio e ajuda.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Archimedes, pela perfeita orientação deste trabalho, me conduzindo pelos caminhos corretos da pesquisa, me incentivando e acreditando em minha capacidade.

Aos meus amigos Daniele, Elaine e Adalberto companheiros de viagem, de estudo e de horas agradabilíssimas de convivência.

Ao querido amigo Sérgio Antonio Röhm, obrigada pelo apoio no momento da escolha deste programa de mestrado.

Ao amigo Luis César por ter me orientado na preparação dos bancos de dados.

À Prof. Dra. Rosina Moreno Serrano, da Universidade de Barcelona, pela inestimável ajuda em um momento crítico de minha pesquisa.

À amiga Silvana por ter me socorrido sempre que tive problemas em meu computador.

Enfim, a todos que me ajudaram de alguma forma a concluir este trabalho, muito obrigada.

LISTA DE SIGLAS

AGM	Arquivo Gráfico Municipal
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego – SP
CID	Classificação Internacional de Doença
CNH	Carteira Nacional de Habilitação
CREP	Crescimento Populacional
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DENS	Densidade Populacional
EVIDA	Esperança de Vida ao nascer
FJP	Fundação João Pinheiro
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDAP	Idade Média da População
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano por Município
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico
IM	Índice de Motorização
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INST	Instituto Nacional de Segurança no Trânsito
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
JARI	Junta Administrativa de Recursos de Infrações
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
LISA	Local Indicator of Spatial Association
NICE	Nível de Centralidade

OMS	Organização Mundial de Saúde
OD	Origem-destino
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
RA	Região Administrativa
RDH	Relatório de Desenvolvimento Humano
RMBS	Região Metropolitana da Baixada Santista
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SAD 69	South American 1969
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNT	Sistema Nacional de Trânsito
SPRING	Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas
TMA	Taxa de Mortalidade por Atropelamento
TJAP	Tribunal de Justiça do Estado do Amapá
TRAM	Trânsito Municipalizado
UNC	Universidade da Califórnia
URB	Grau de Urbanização
USA	United States of America

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	19
1.1 Justificativa	21
1.2 Objetivo geral	22
1.3 Objetivos específicos	22
1.4 Estrutura da dissertação	22
CAPÍTULO 2 – MORTALIDADE POR ATROPELAMENTO NO ESTADO DE SÃO PAULO	24
2.1 Acidentes de trânsito	24
2.2 Principais causas dos acidentes	26
2.3 Tipos de acidentes de trânsito	28
2.4 Mortalidade por atropelamento	29
2.4.1 Características do atropelamento	31
2.4.2 Evolução da mortalidade por atropelamento	31
CAPÍTULO 3 – ANÁLISE ESPACIAL	33
3.1 Introdução	33
3.2 Classificação de dados espaciais	35
3.3 Princípios básicos no tratamento dos dados espaciais	36
3.4 Efeitos espaciais no estudo de dados espaciais	37
3.5 Análise exploratória de dados espaciais	38
3.5.1 Análise exploratória de padrões pontuais	40
3.5.2 Análise exploratória de áreas	43
3.6 Estatística espacial	46
CAPÍTULO 4 – FERRAMENTAS DE ANÁLISE E ESTATÍSTICA ESPACIAL	49
4.1 Estimador de intensidade por áreas – <i>Kernel Estimation</i>	49
4.2 Matrizes de proximidade espacial	50
4.3 Média espacial móvel	51

4.3.1	<i>Gráfico de barras</i>	53
4.4	Indicadores globais de autocorrelação espacial	53
4.4.1	<i>Diagrama de espalhamento de Moran</i>	54
4.4.2	<i>Box Map</i>	56
4.5	Indicadores locais de autocorrelação espacial	56
4.5.1	<i>Lisa Map</i>	58
4.5.2	<i>Moran Map</i>	58
4.6	Aplicações de estatística espacial	58
CAPÍTULO 5 – INDICADORES		61
5.1	Indicador de atropelamento	61
5.2	Indicadores de aspecto populacional	62
5.2.1	<i>Taxa geométrica de crescimento anual da população</i>	62
5.2.2	<i>Densidade demográfica</i>	63
5.2.3	<i>Idade média da população</i>	63
5.3	Indicadores de urbanização	63
5.3.1	<i>Grau de urbanização</i>	64
5.3.2	<i>Nível de centralidade</i>	64
5.4	Indicador de desenvolvimento humano – IDH-municipal	65
5.5	Indicadores de trânsito	66
5.5.1	<i>Índice de motorização</i>	66
5.5.2	<i>Trânsito municipalizado</i>	67
CAPÍTULO 6 – METODOLOGIA		68
6.1	Preparação da base de dados	69
6.1.1	<i>Obtenção da base de dados georreferenciada</i>	69
6.1.2	<i>Obtenção dos dados não gráficos</i>	70
	Aplicação das ferramentas de estatística espacial	70
6.2.1	<i>Estatística espacial dos índices de atropelamento</i>	71
6.2.2	<i>Estatística espacial dos indicadores</i>	71
6.3	Sobreposição de <i>clusters</i>	71
CAPÍTULO 7 – APLICAÇÃO DAS ETAPAS METODOLÓGICAS		73
7.1	Caracterização da área de estudo	73

7.2	Preparação da base de dados	74
7.2.1	<i>Aquisição da base de dados gráficos</i>	74
7.2.2	<i>Aquisição da base de dados não gráficos</i>	76
7.3	Aplicação das técnicas de estatística espacial	77
7.4	Estatística espacial das taxas de mortalidade por atropelamento	77
7.4.1	<i>Cálculo da média espacial móvel</i>	78
7.4.2	<i>Cálculo do índice global de Moran</i>	82
7.4.2.1	Diagrama de espalhamento de Moran	83
7.4.2.2	Box Map	87
7.4.3	<i>Cálculo do índice local de Moran</i>	90
7.4.3.1	Lisa Map	91
7.4.3.2	Moran Map	96
7.5	Estatística espacial dos indicadores	101
7.5.1	<i>Cálculo da média espacial móvel</i>	101
7.5.2	<i>Cálculo do coeficiente de correlação de Pearson</i>	105
7.5.3	<i>Cálculo do índice global de Moran</i>	107
7.5.3.1	Diagrama de espalhamento de Moran	107
7.5.3.2	Box Map	110
7.5.4	<i>Cálculo do índice local de Moran</i>	113
7.5.4.1	Lisa Map	113
7.5.4.2	Moran Map	117
CAPÍTULO 8 – RESULTADOS		121
CAPÍTULO 9 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		135
ANEXO		140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Municípios do Estado de São Paulo com taxa de urbanização de 100%	19
Figura 1.2 – Estrutura da pesquisa	23
Figura 2.1 – Taxa de Mortalidade por Acidentes de Trânsito de países selecionados e Estado de São Paulo	26
Figura 2.2 – Municípios do Estado de São Paulo com Taxa de Mortalidade por Atropelamento superior a 20 óbitos por 100 mil habitantes	30
Figura 3.1 – Mapa de localização de casos de contaminação por chumbo ocorrido na cidade de Bauru/SP, ano de 2002	34
Figura 3.2 – Classificação da AEDE	40
Figura 3.3 – Distribuição da frequência escolar dos municípios paulistas do ano de 2000, agrupadas por quintil	44
Figura 3.4 – Comparação das técnicas de agrupamento do SPRING para uma mesma variável	45
Figura 4.1 – Áreas e matriz de proximidade espacial	51
Figura 4.2 – Quadrantes do Diagrama de Espalhamento de <i>Moran (Scatterplot)</i>	55
Figura 6.1 – Estrutura da metodologia	69
Figura 7.1 – Localização do Estado de São Paulo	74
Figura 7.2 – Configuração da base de dados no SPRING	75
Figura 7.3 – Média espacial móvel para a variável TMA_96	78
Figura 7.4 – Média espacial móvel para a variável TMA_97	79
Figura 7.5 – Média espacial móvel para a variável TMA_98	79
Figura 7.6 – Média espacial móvel para a variável TMA_99	79
Figura 7.7 – Média espacial móvel para a variável TMA_00	80

Figura 7.8 – Média espacial móvel para a variável TMA_01	80
Figura 7.9 – Média espacial móvel para a variável TMA_02	80
Figura 7.10 – Média espacial móvel para a variável TMA_03	81
Figura 7.11 – Média espacial móvel para a variável TMA_04	81
Figura 7.12 – Média espacial móvel para a variável TMA_05	81
Figura 7.13 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável TMA_96	83
Figura 7.14 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável TMA_97	83
Figura 7.15 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável TMA_98	84
Figura 7.16 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável TMA_99	84
Figura 7.17 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável TMA_00	84
Figura 7.18 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável TMA_01	85
Figura 7.19 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável TMA_02	85
Figura 7.20 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável TMA_03	85
Figura 7.21 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável TMA_04	86
Figura 7.22 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável TMA_05	86
Figura 7.23 – <i>Box Map</i> da variável TMA_96	87
Figura 7.24 – <i>Box Map</i> da variável TMA_97	87
Figura 7.25 – <i>Box Map</i> da variável TMA_98	88
Figura 7.26 – <i>Box Map</i> da variável TMA_99	88
Figura 7.27 – <i>Box Map</i> da variável TMA_00	88
Figura 7.28 – <i>Box Map</i> da variável TMA_01	89
Figura 7.29 – <i>Box Map</i> da variável TMA_02	89
Figura 7.30 – <i>Box Map</i> da variável TMA_03	89

Figura 7.31 – <i>Box Map</i> da variável TMA_04	90
Figura 7.32 – <i>Box Map</i> da variável TMA_05	90
Figura 7.33 – <i>Lisa Map</i> da variável TMA_96	91
Figura 7.34 – <i>Lisa Map</i> da variável TMA_97	91
Figura 7.35 – <i>Lisa Map</i> da variável TMA_98	92
Figura 7.36 – <i>Lisa Map</i> da variável TMA_99	92
Figura 7.37 – <i>Lisa Map</i> da variável TMA_00	92
Figura 7.38 – <i>Lisa Map</i> da variável TMA_01	93
Figura 7.39 – <i>Lisa Map</i> da variável TMA_02	93
Figura 7.40 – <i>Lisa Map</i> da variável TMA_03	93
Figura 7.41 – <i>Lisa Map</i> da variável TMA_04	94
Figura 7.42 – <i>Lisa Map</i> da variável TMA_05	94
Figura 7.43 – Evolução dos resultados dos <i>Lisa Map</i> para as variáveis TMA no período de 1996 a 2005	95
Figura 7.44 – <i>Moran Map</i> da variável TMA_96	96
Figura 7.45 – <i>Moran Map</i> da variável TMA_97	96
Figura 7.46 – <i>Moran Map</i> da variável TMA_98	97
Figura 7.47 – <i>Moran Map</i> da variável TMA_99	97
Figura 7.48 – <i>Moran Map</i> da variável TMA_00	97
Figura 7.49 – <i>Moran Map</i> da variável TMA_01	98
Figura 7.50 – <i>Moran Map</i> da variável TMA_02	98
Figura 7.51 – <i>Moran Map</i> da variável TMA_03	98
Figura 7.52 – <i>Moran Map</i> da variável TMA_04	99
Figura 7.53 – <i>Moran Map</i> da variável TMA_05	99

Figura 7.54 – Áreas com autocorrelação positiva para a variável TMA	100
Figura 7.55 – Média espacial móvel para a variável CREP	102
Figura 7.56 – Média espacial móvel para a variável DENS	102
Figura 7.57 – Média espacial móvel para a variável IDAP	102
Figura 7.58 – Média espacial móvel para a variável NICE	103
Figura 7.59 – Média espacial móvel para a variável URB	103
Figura 7.60 – Média espacial móvel para a variável IDHM	103
Figura 7.61 – Média espacial móvel para a variável IM	104
Figura 7.62 – Média espacial móvel para a variável TRAM	104
Figura 7.63 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável CREP	108
Figura 7.64 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável DENS	108
Figura 7.65 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável IDAP	108
Figura 7.66 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável URB	109
Figura 7.67 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável IDHM	109
Figura 7.68 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável IM	109
Figura 7.69 – Diagrama de espalhamento de <i>Moran</i> da variável TRAM	110
Figura 7.70 – <i>Box Map</i> da variável CREP	111
Figura 7.71 – <i>Box Map</i> da variável DENS	111
Figura 7.72 – <i>Box Map</i> da variável IDAP	111
Figura 7.73 – <i>Box Map</i> da variável URB	112
Figura 7.74 – <i>Box Map</i> da variável IDHM	112
Figura 7.75 – <i>Box Map</i> da variável IM	112
Figura 7.76 – <i>Box Map</i> da variável TRAM	113

Figura 7.77 – <i>Lisa Map</i> da variável CREP	114
Figura 7.78 – <i>Lisa Map</i> da variável DENS	114
Figura 7.79 – <i>Lisa Map</i> da variável IDAP	114
Figura 7.80 – <i>Lisa Map</i> da variável URB	115
Figura 7.81 – <i>Lisa Map</i> da variável IDHM	115
Figura 7.82 – <i>Lisa Map</i> da variável IM	115
Figura 7.83 – <i>Lisa Map</i> da variável TRAM	116
Figura 7.84 – Gráfico comparativo dos resultados dos <i>Lisa Map</i>	117
Figura 7.85 – <i>Moran Map</i> da variável CREP	117
Figura 7.86 – <i>Moran Map</i> da variável DENS	118
Figura 7.87 – <i>Moran Map</i> da variável IDAP	118
Figura 7.88 – <i>Moran Map</i> da variável URB	118
Figura 7.89 – <i>Moran Map</i> da variável IDHM	119
Figura 7.90 – <i>Moran Map</i> da variável IM	119
Figura 7.91 – <i>Moran Map</i> da variável TRAM	119
Figura 8.1 – Áreas com sobreposição de <i>clusters</i> das variáveis TMA e CREP	122
Figura 8.2 – Áreas com sobreposição de <i>clusters</i> das variáveis TMA e DENS	122
Figura 8.3 – Áreas com sobreposição de <i>clusters</i> das variáveis TMA e IDAP	122
Figura 8.4 – Áreas com sobreposição de <i>clusters</i> das variáveis TMA e URB	123
Figura 8.5 – Áreas com sobreposição de <i>clusters</i> das variáveis TMA e IDHM	123
Figura 8.6 – Áreas com sobreposição de <i>clusters</i> das variáveis TMA e IM	123
Figura 8.7 – Áreas com sobreposição de <i>clusters</i> das variáveis TMA e TRAM	124
Figura 8.8 – Correlações espaciais do agrupamento 1	127
Figura 8.9 – Correlações espaciais do agrupamento 2	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1 – Níveis de centralidade das cidades brasileiras	65
Quadro 7.1 – Modelagem de dados da base cartográfica do Estado de São Paulo	76
Quadro 7.2 – Codificação das variáveis TMA para o período de 1996 a 2005	78
Quadro 7.3 – Índice Global de <i>Moran</i> para a variável TMA no período de 1996 a 2005	82
Quadro 7.4 – Pontos localizados nos quadrantes Q1 e Q2 (em %)	86
Quadro 7.5 – Resultados dos <i>Lisa Map</i>	95
Quadro 7.6 – Codificação dos indicadores	101
Quadro 7.7 – Matriz de correlação entre variáveis.....	106
Quadro 7.8 – Índice Global de <i>Moran</i> dos indicadores	107
Quadro 7.9 – Pontos localizados nos quadrantes Q1 e Q2 (em %).....	110
Quadro 7.10 – Resultados dos <i>Lisa Map</i> (%).....	116
Quadro 8.1 – Combinação das áreas de autocorrelação positiva entre a variável TMA e indicadores.....	121
Quadro 8.2 – Correlação espacial entre TMA e indicadores	126

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 – Índice de autocorrelação espacial.....	42
Equação 4.1 – Estimador de intensidade por áreas	50
Equação 4.2 – Cálculo do vetor dos desvios	52
Equação 4.3 – Cálculo da média espacial móvel	52
Equação 4.4 – Índice global de <i>Moran</i>	54
Equação 4.5 – Índice local de <i>Moran</i>	57
Equação 5.1 – Taxa de mortalidade por atropelamento.....	62
Equação 5.2 – Taxa geométrica de crescimento anual da população	62
Equação 5.3 – Índice de densidade demográfica	63
Equação 5.4 – Índice de urbanização.....	64
Equação 5.5 – Índice de desenvolvimento humano municipal.....	65
Equação 5.6 – Índice de motorização	66
Equação 7.1 – Coeficiente de correlação de <i>Pearson</i>	106

RESUMO

O Brasil apresenta índices elevados de acidentes e constitui um dos maiores problemas de saúde pública, deixando ao ano, milhares de mortos ou pessoas com deficiências temporárias ou permanentes. Deve-se considerar que grande parcela dos acidentes ocorridos no país são atropelamentos, sendo que sua mortalidade também apresenta números elevados. No Brasil ocorrem aproximadamente 5,6 óbitos por 100 mil habitantes ao ano. O Estado de São Paulo apresenta números bem superiores à média nacional, de nove óbitos por 100 mil habitantes. Muitos municípios paulistas chegaram a apresentar, no ano de 2005, índices superiores a 20 óbitos por 100 mil habitantes. Considerando que não são muitos os estudos que tratam especificamente do problema dos atropelamentos, este trabalho pode ser interessante no sentido de auxiliar sua compreensão e identificar possíveis fatores contribuintes para sua ocorrência. Esta pesquisa teve por objetivo principal analisar as ocorrências de mortalidade por atropelamento nos municípios paulistas, considerando que trata-se de um fenômeno espacial, em que sua localização é um importante atributo, permitindo assim, a busca pela existência de padrões de distribuição, tendência e dependência espaciais. Para tanto foram utilizadas ferramentas de SIG e de estatística espacial. Foi compreendido que o estado de São Paulo apresenta três agrupamentos de áreas com autocorrelação espacial positiva (*clusters*), localizados nas regiões noroeste/centro-oeste, sudeste e sul do estado. Apresenta também correlações espaciais significativas com alguns indicadores estudados, como é o caso da densidade demográfica, crescimento populacional, idade da população, grau de urbanização, IDH-municipal e índice de motorização. Também deve ser considerado que o atropelamento pode estar associado a fatores específicos de cada município, como a falta de infra-estrutura adequada que permita uma circulação segura dos pedestres, tanto no meio urbano como nas rodovias.

ABSTRACT

The Brazil presents exalted indexes of accidents and constitute one of bigger problems of public health, leaving in year, thousands of deads or peoples with temporaries or permanencies deficiencies. It is necessary to consider that big piece of accidents occurred in the country are trampling down, been that your mortality also presents raised numbers. In Brazil occur approachment 5,6 deaths for 100 thousand habitants in year. The São Paulo State presents numbers very higher at national average, of nine deaths for 100 thousand habitants. Many municipality of São Paulo State presented, in year's 2005, indexes higher at 20 deaths for 100 thousand habitants. Considering that are not many the research that discuss specified of problem of trampling down, this work can be interesting with intension of to help your understanding and identify possible contributing factories for your incident. This research had for mainly objective to analyze the incident of deaths for trampling down in the municipalities of São Paulo State, considering that discuss of a spacious phenomenon, where the localization is a important attribute, permitting so, the search for existence of stone of distribution, tendency and dependence spacious. For this been utilized implements of GIS and of spacious statistics. Was understandied that the São Paulo State presents three groupment of area with clusters, localized in the region north-west/centre-west, south-east and south of State. Presents also correlation spacious signified with some indicates studiedes like the case of demography density, populational increase, age of population, level of urbanization, municipalities and index of motorization. Also is necessary be considered that the trampling down can be associate with factors specified of each municipalities, like the less structure adequate that permit a secure circulation of pedestrian as much urban place as in the highway.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras tiveram um vertiginoso crescimento no século XX. O país deixou de ser agrário e tornou-se essencialmente urbano. Em 1940, a taxa de urbanização era de cerca de 30%. Hoje, em torno de 82% da população residem em áreas urbanas (IBGE, 2000). Os municípios do Estado de São Paulo apresentam altas taxas de urbanização, sendo que 92,5% dos moradores da capital vivem em áreas urbanas – número bem superior à média brasileira. Alguns municípios, relacionados no Anexo 1.1 e dispostos na Figura 1.1, chegam a apresentar taxa de urbanização igual a 100%.

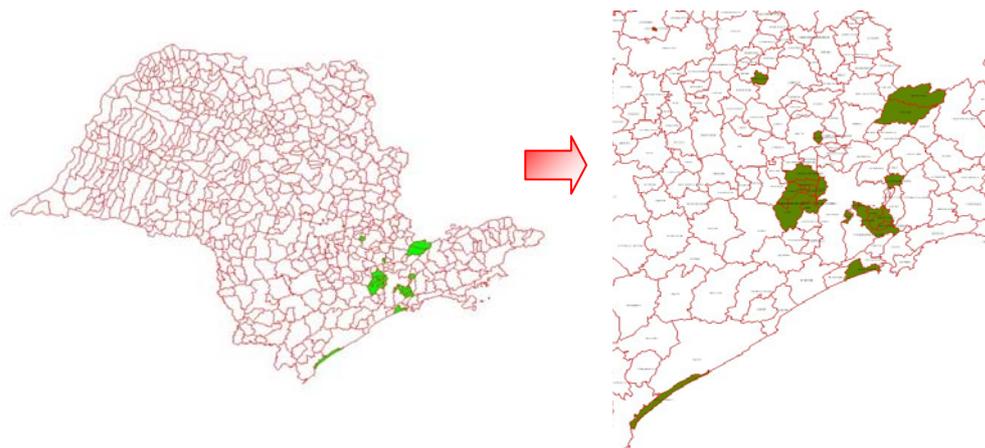


Figura 1.1 – Municípios do Estado de São Paulo com taxa de urbanização de 100%
(Fonte: IBGE, 2000)

O processo de urbanização e o crescimento rápido das cidades trouxeram consigo o aumento da necessidade de deslocamento. Esta necessidade ocorre em todas as cidades, sejam elas de pequeno, médio ou grande porte. Cada dia aumenta a necessidade de deslocamento de pessoas e de cargas nos centros urbanos. Tal necessidade se dá pelo modo de vida que as pessoas têm e atividades que exercem. O número de deslocamentos é crescente; são atividades de trabalho, educação, lazer, saúde, comércio, etc. Se há algum tempo as pessoas se deslocavam quase que exclusivamente para chegar ao seu local de trabalho, hoje a situação mostra-se diferente, devido aos novos anseios e objetivos. Esta situação reflete-se no grande número de veículos automotores nas vias urbanas, sejam eles particulares ou públicos.

Desde o seu surgimento, chegando aos dias de hoje, a problemática urbana, suscitada pelos veículos automotores, não tem sido plenamente resolvida. Mais do que isto, os efeitos diretos e indiretos causados pelos elementos introduzidos pelos veículos no cotidiano do cidadão contemplam abordagens, entre outras, do ponto de vista ambiental, da engenharia de trânsito, do planejamento urbano, da qualidade de vida e dos acidentes de trânsito.

Embora se reconheça a complexidade que envolve os múltiplos eventos designados pela categoria violência na área da saúde pública, esses eventos recebem, pela Classificação Internacional de Doenças (CID), a denominação de causas externas. Essa definição abrange uma gama extremamente extensa de fenômenos, porém, esta falta de especificidade dificulta o aprofundamento sobre questões tão distintas, sendo necessário um referencial mais estratégico para o debate na saúde pública (DESLANDES, 1997).

O problema das mortes violentas é destaque tanto nas sociedades desenvolvidas como nas subdesenvolvidas, sendo que os acidentes de trânsito respondem por importante parcela deste grupo de causas (MESQUITA, 1990). Esses merecem especial atenção porque, além de tantas mortes, determinam graus variados de incapacidade física em expressivo número de vítimas. Scielsleski (1982) afirma que os acidentes de trânsito não são fatalidades, mas ocorrem pela deficiência na conservação de veículos e estradas ou, ainda, são provocados pelos pedestres e condutores e, as falhas humanas se sobrepõem aos demais determinantes dos acidentes. A ocorrência de um significativo número de acidentes de trânsito envolvendo vítimas fatais é freqüentemente associada a grandes centros urbanos. No entanto, as estatísticas oficiais vêm mostrando que a questão das mortes no trânsito é também destaque nas localidades do interior (IPARDES, 1991).

No Brasil morrem aproximadamente 50 mil pessoas por ano e outras 350 mil ficam com alguma seqüela. Cerca de 40% dos acidentes ocorridos no país são atropelamentos. Em São Paulo, no ano de 1991, 60% dos mortos em acidentes de trânsito eram pedestres. A capital que se destaca por ocorrência de acidente por atropelamentos com vítimas fatais é Belém do Pará, apresentado um índice de 81,86%; Brasília também apresenta um índice alto, de 41,05% (DENATRAN, 2002).

Até a década de 1980, principalmente, estudos sobre atropelamento justificavam-se apenas para medidas de segurança no local do acidente, porém, a partir da década de 1990, houve grande preocupação por parte dos pesquisadores não só em

relação ao fator atropelamento, mas o que nele está implicado, isto é, qual a percepção do pedestre antes, durante e após o evento traumático. Apesar do quadro de insegurança vivenciado pelos principais municípios brasileiros, são poucos os estudos que tratam especificamente do problema dos atropelamentos ou que apontem os fatores contribuintes que impõem maior risco aos pedestres. No entanto, os fatores contribuintes dos atropelamentos de pedestres precisam ser profundamente conhecidos para subsidiar políticas públicas que visem mitigar o problema (VELLOSO & JACQUES, 2005).

Este trabalho pretende focar a ocorrência de mortalidade por atropelamento como principal objeto de estudo. A seguir são apresentados os objetivos e a justificativa deste trabalho.

1.1 Justificativa

O crescimento acelerado de grande parte das cidades brasileiras trouxe consigo o aumento da necessidade de deslocamento e, por conseqüência, o grande número de veículos nas vias. Este acontecimento aparece em todas as cidades, independente de seu porte, sendo, porém, mais visível nos grandes centros. São várias as conseqüências da grande quantidade de veículos automotores nas vias, como, por exemplo, os congestionamentos, a agressão ao meio ambiente e o grande número de ocorrências de acidentes de trânsito.

O Brasil é um dos países com maior índice de acidentes, mal este que tira milhares de vidas e que deixa outros milhares de feridos e é considerado um grave problema de saúde pública. Segundo Ott *et al.* (1993), sua relevância reside, ao menos, em três enfoques: a alta morbi-mortalidade conseqüente aos acidentes, sua predominância em populações jovens e/ou economicamente ativas e o elevado custo ao sistema de saúde e previdência. Deve-se considerar que grande parcela dos acidentes ocorridos no país são atropelamentos.

Os municípios do Estado de São Paulo apresentam altas taxas de urbanização, alguns chegando a apresentar índice de 100%, apresentam grandes frotas de veículos. De acordo com SEADE (2006), os atropelamentos representam uma importante causa de morbi-mortalidade, com lugar de destaque entre as mortes provocadas por causas externas.

Como citado anteriormente, são poucos os estudos que tratam especificamente do problema dos atropelamentos. Seu estudo é, portanto, interessante

no sentido de auxiliar sua compreensão e identificar possíveis fatores relacionados para sua ocorrência.

1.2 Objetivo geral

Esta pesquisa tem por objetivo principal estudar a distribuição espacial das ocorrências de mortalidade por atropelamento nos municípios do estado de São Paulo, utilizando sistemas de informações geográficas e ferramentas de estatística espacial, considerando características relativas à população, à urbanização, ao desenvolvimento humano e ao trânsito das áreas estudadas.

1.3 Objetivos específicos

Como objetivos específicos deste estudo, ficam estabelecidos os seguintes:

- Estudar a autocorrelação espacial da Taxas de Mortalidade por Atropelamento (TMA) nos municípios do estado de São Paulo, verificando assim a possível existência de padrões de associação espacial;
- Verificar a possível correlação entre a ocorrência de mortalidade por atropelamento e aspectos da população, da urbanização, do desenvolvimento humano e do trânsito nas áreas envolvidas, considerando seus níveis de agregação.

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho é desenvolvido em nove capítulos, como mostra a Figura 1.2, que traz um diagrama da sua estrutura.

O capítulo 1 é a introdução, que traz comentários sobre o assunto, apresenta a justificativa e os objetivos da pesquisa. No capítulo 2 são apresentados os conceitos, as principais causas e a classificação dos acidentes de trânsito. Comenta-se sobre a mortalidade por atropelamento no Brasil e no Estado de São Paulo e aborda-se diversas questões sobre atropelamento. O capítulo 3 traz conceitos de análise e estatística espaciais e aborda questões relacionadas aos dados espaciais, como sua classificação, princípios básicos no tratamento dos dados espaciais e os efeitos espaciais que ocorrem no seu estudo. Por fim, são apresentadas as análises exploratórias relativas aos padrões pontuais e às áreas.

As ferramentas de estatística espacial para a análise de áreas são descritas no capítulo 4. Na seqüência, são apresentadas as definições dos indicadores utilizados na verificação da possível relação entre a ocorrência da Taxa de Mortalidade por Atropelamento - TMA e aspectos populacionais, da urbanização, do desenvolvimento humano e do trânsito nos municípios paulistas – capítulo 5. No capítulo 6, são descritas as etapas adotadas na metodologia: obtenção de dados relacionados a taxa de mortalidade, obtenção dos indicadores utilizados para a comparação com a taxa de mortalidade por atropelamento, obtenção da base de dados georreferenciada, a aplicação das técnicas de estatística espacial e os métodos para a obtenção dos resultados.

No capítulo 7 poderão ser observadas as aplicações das técnicas de análise e estatística espacial, para os 645 municípios do Estado de São Paulo, referentes à variável principal do estudo – a TMA e às demais variáveis escolhidas, a fim de estabelecer correlações espaciais entre as mesmas. Os resultados são mostrados no capítulo 8 e, por fim, as conclusões e recomendações estão no capítulo 9.

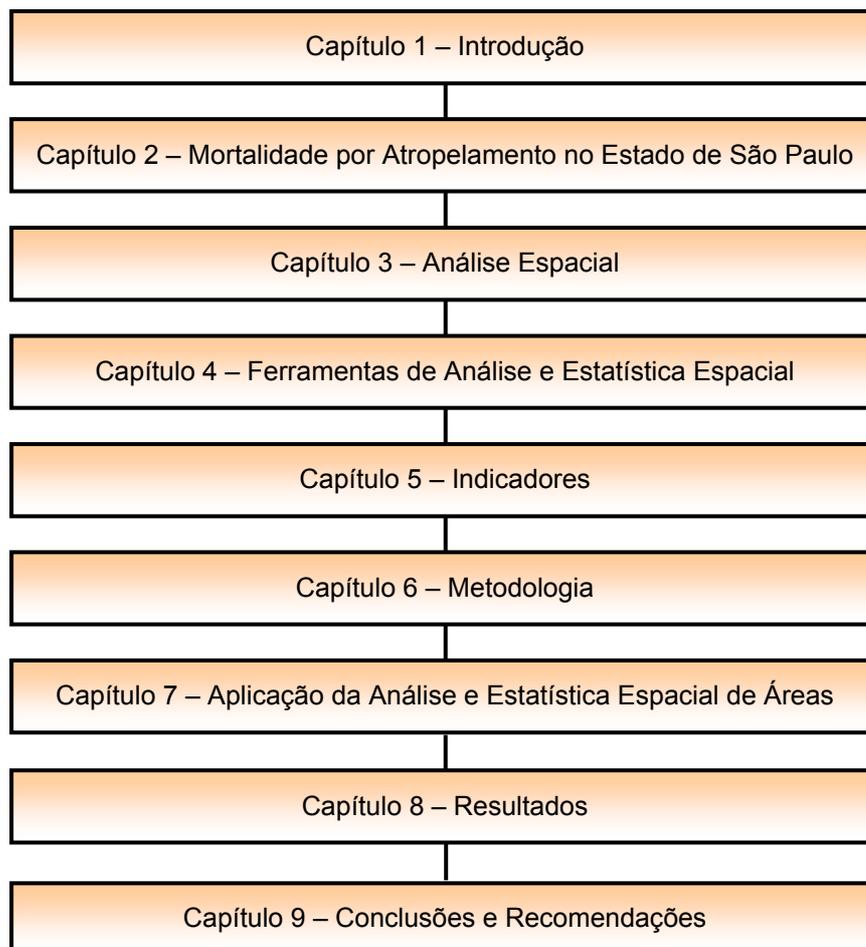


Figura 1.2 – Estrutura da pesquisa

CAPÍTULO 2

ACIDENTES DE TRÂNSITO

Este capítulo apresenta conceitos, principais causas e classificação dos acidentes de trânsito. Comenta-se sobre a mortalidade por atropelamento no Brasil e no Estado de São Paulo; apresenta-se algumas características do atropelamento e a evolução da mortalidade.

2.1 Acidentes de Trânsito

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) considera trânsito como a utilização das vias por pessoas, veículos e animais, isolados ou em grupos, conduzidos ou não, para fins de circulação, parada, estacionamento e operação de carga e descarga. O trânsito é, também, o resultado da distribuição dos diversos tipos de uso do solo das cidades e dos deslocamentos diários das pessoas para fins de trabalho, estudo, lazer, saúde e outras atividades (DENATRAN, 2000).

O CTB define via como sendo a superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, a ilha e o canteiro central. As ruas, as avenidas, os logradouros, os caminhos, as passagens, as estradas, as rodovias, as praias abertas à circulação pública e as vias internas pertencentes aos condomínios constituídos por unidades autônomas, são considerados vias terrestres para efeito do CTB. Seu uso deve ser regulamentado pelo órgão ou entidade com circunscrição sobre elas, de acordo com as peculiaridades locais e as circunstâncias especiais (DENATRAN, 2000).

O acidente de trânsito pode ser definido como um acontecimento fortuito, que envolve ao menos um veículo, motorizado ou não, ocorrido em via pública ou parcialmente situado nesta. De acordo com ANTP (1997), o acidente de trânsito não é destino ou fatalidade, é o resultado de uma série de ocorrências simultâneas ou

seqüenciais, que são os fatores contribuintes, como por exemplo, as condições da via e do meio ambiente, o comportamento humano e o veículo. Partindo deste princípio, os acidentes de trânsito são evitáveis e sua ocorrência é passível de prevenção. Desta forma, qualquer política de segurança no trânsito requer um tratamento multidisciplinar, com ações em várias áreas, tais como: infra-estrutura, sinalização, fiscalização, planejamento urbano e educação voltada à cidadania.

O acidente de trânsito, possivelmente, constitui o pior problema de saúde pública no Brasil, que registra anualmente cerca de 1,5 milhão de acidentes. Os custos anuais com acidentes de trânsito no Brasil, incluindo os rodoviários, atingem a casa de R\$ 28 bilhões. Com base na média entre os anos de 2003 e 2006, o trânsito brasileiro deixa, ao ano, 34 mil mortes, 100 mil pessoas com deficiências temporárias ou permanentes e 400 mil feridos (ANTP, 2007). O número de mortes em acidentes por grupo de dez mil veículos, no Brasil, é aproximadamente quatro vezes maior quando comparado aos índices encontrados em alguns países desenvolvidos (DENATRAN, 2005).

A Figura 2.1 apresenta taxas de mortalidade por acidente de trânsito de alguns países, com dados do ano de 2000, disponibilizados pela Organização Mundial da Saúde - OMS. Rússia, Lituânia, Portugal e Grécia têm taxas que se aproximam de 20 óbitos por 100 mil habitantes. Hungria, Estados Unidos, Bélgica, Colômbia e Espanha têm índices que ficam em torno de 15 óbitos por 100 mil habitantes, enquanto em países como Áustria, Japão, Canadá, Alemanha e Reino Unido, apresentam índices inferiores a 10 óbitos por 100 mil habitantes. O Brasil, no ano de 2003, apresentou taxa de mortalidade por acidente de trânsito em torno de 19 óbitos por 100 mil habitantes, e o Estado de São Paulo apresentou índice de 17,6 óbitos por 100 mil habitantes. Com isto, observa-se que o Brasil ainda apresenta níveis elevados de mortalidade por acidentes de trânsito, quando comparados com países desenvolvidos (MAIA, 2006).

Os prejuízos causados pelos acidentes de trânsito vão além dos gastos com a Saúde Pública. Ocorrem interrupções de tráfego, devido ao socorro às vítimas, reboque dos veículos acidentados, reparos dos danos causados à via, ocasionando diversos transtornos, como por exemplo, a perda de cargas perecíveis. Evidentemente, as principais perdas estão relacionadas com as vítimas humanas, principalmente com as vítimas fatais.



Figura 2.1 – Taxa de Mortalidade por Acidente de Trânsito de países selecionados e Estado de São Paulo (Fonte: SEADE, 2006)

2.2 Principais causas dos acidentes

Tradicionalmente, o fenômeno do acidente de trânsito é visto como um acontecimento isolado, sendo a sua causa algum erro do motorista, pedestre ou algum defeito na pista ou no veículo, nas imediações do local do acidente. Na realidade, os acidentes fazem parte de um ambiente físico, social e institucional, cujas partes possuem inter-relações.

Os erros do motorista, bem como os defeitos em vias e veículos, existem de fato, e aparecem como as causas imediatas dos acidentes. Entretanto, são fenômenos que se realizam dentro de um contexto mais amplo que precisa ser compreendido para obter saltos quantitativos no controle dos acidentes. Dentro de tal perspectiva, costuma-

se negligenciar as causas indiretas, provenientes do sistema em que o motorista está inserido, como o traçado da via, a educação para o trânsito e a fiscalização. Desta forma, pode-se dizer que há dois tipos de causas de acidentes: causas imediatas e causas indiretas (GEIPOT, 1987).

As causas imediatas focalizam-se em fatores específicos imediatamente anteriores ao acidente. As causas indiretas incluem o esquema de circulação adotado, as modalidades utilizadas, o traçado viário, a capacidade do motorista de identificar sinais de perigo. Desta forma, a responsabilidade pelos acidentes não termina com os motoristas e pedestres diretamente envolvidos. Compartilham dessa responsabilidade, por meio de desconhecimento, erros e omissões, o poder público e as autoridades (GEIPOT, 1987).

Podem ser citados, como causas dos acidentes, os seguintes fatores:

- Humano;
- Veicular;
- Viário;
- Ambiental.

O fator humano tem participação significativa no número de acidentes, sendo o condutor o principal aspecto. São considerados, neste fator, a educação, o comportamento, o conhecimento da legislação, bem como as condições físicas e psicológicas do condutor. As condições físicas que mais podem atrapalhar o condutor são: o sono, a fadiga, o uso de álcool e de substâncias estimulantes. A distração ou tensão nervosa é considerada fator psicológico (GEIPOT, 1987).

O fator veicular engloba as condições de conservação dos veículos, podendo ser verificadas, por exemplo, através da revisão de freios, pneus, faróis, setas, limpadores de pára-brisa e o uso de equipamentos de segurança, tais como cinto de segurança para condutores e passageiros de veículos e o uso de capacetes por motociclistas. Este fator tem grande peso nos acidentes de trânsito ocorridos nos países em desenvolvimento, principalmente no Brasil, visto que grande parte da frota nacional destes países é composta por automóveis com muitos anos de uso. Estes veículos, em sua maioria, são

utilizados pela população de baixa renda, como alternativa ao sistema de transporte público coletivo, que muitas vezes é deficiente nas médias e grandes cidades (GEIPOT, 1987).

O fator viário, de grande influência na ocorrência de acidentes de trânsito, pode ser caracterizado pela largura da via, declividade, condições do pavimento, existência de sinalização horizontal e vertical, visibilidade, escoamento das águas pluviais, iluminação, regulamentação e tipo de fluxo. Podem ser citadas, ainda, a largura e as condições de conservação dos passeios públicos (INST, 1995).

Por último, o fator ambiental é, geralmente, associado com a incidência de raios solares, as chuvas fortes, neblinas e fumaças que podem atrapalhar a visão de condutores e pedestres dificultando a locomoção dos usuários do sistema viário. O uso e a ocupação do solo também podem vir a contribuir para o crescimento do número dos acidentes de trânsito, através do aumento do volume de veículos e pessoas que freqüentam os pólos geradores de tráfego (GEIPOT, 1987).

Segundo Gold (1998), nas áreas urbanas existe uma concentração de acidentes nas regiões centrais, onde há aglomeração de atividades de negócios e serviços. Não que nestas regiões as condições de segurança no trânsito sejam menores do que em outras áreas, mas o grande fluxo de veículos e pedestres aumenta a possibilidade de ocorrer acidentes. Em regiões mais adensadas, com grande volume de comércio e serviços, a freqüência de ocorrências é alta, porém a velocidade média desenvolvida pelos veículos é baixa, o que reduz a gravidade destes acidentes. Nos locais onde o volume de tráfego é menor, os veículos desenvolvem maiores velocidades, levando a acidentes mais graves (CET, 1979).

2.3 Tipos de acidentes de trânsito

Os acidentes de trânsito podem envolver ou não veículos. Aqueles que envolvem veículos estão associados à colisões, choques ou atropelamentos. E os que não envolvem veículos, correspondem àqueles que resultam em danos físicos, devido a quedas de pedestres e ciclistas em trânsito pelas vias públicas. O acidente de trânsito

pode ocorrer com vítimas ou sem vítimas, podendo a vítima ser fatal ou não. Os acidentes sem vítimas ocorrem quando existe um choque de pelo menos um veículo, resultando em danos materiais. O acidente com vítima, corresponde àquele que envolve veículos e/ou pessoas, levando a ferimentos de pelo menos uma pessoa envolvida, podendo ou não estes ferimentos resultar em morte. Os acidentes de trânsito podem ser classificados como (RAIA Jr., 2004; MANTOVANI, 2003; CARDOSO, 1999):

- **Colisão:** pode ser frontal, traseira, lateral e transversal e acontece com o choque de dois ou mais veículos em movimento;
- **Choque:** ocorre quando um veículo em movimento colide com qualquer objeto fixo;
- **Atropelamento:** acidente entre um veículo em movimento e um ou mais pedestres;
- **Capotamento:** ocorre quando um veículo gira em torno de um de seus eixos;
- **Tombamento:** quando um veículo tomba em uma de suas laterais e;
- **Engavetamento:** quando mais de dois veículos colidem, tendo o mesmo sentido de deslocamento.

2.4 Mortalidade por atropelamento

O atropelamento é definido como acidente entre um veículo em movimento e um ou mais pedestres (RAIA JUNIOR, 2004; MANTOVANI, 2003; CARDOSO, 1999). Para Reinhold & Goldner (2005), as leis de cada país favorecem, em parte, o pedestre no seu direito de transitar nas vias urbanas, diante da possibilidade de utilizar o espaço que lhe é cabível, sem interferir diretamente no trânsito dos veículos e da preocupação em andar seguro pelas laterais e travessias das vias.

O pedestre é reconhecido quando está a pé, parado ou caminhando, conforme apresentam as literaturas, e pertence a um grupo distinto no qual se encontram adultos, jovens, crianças e idosos, em seus mais diversos níveis de condições físicas, além de reunir pessoas independentemente de nacionalidade, nível socioeconômico, sexo, ou mesmo religião. Abrange todas as pessoas que desenvolvem atividades nas quais o deslocamento feito envolve seções de caminhada. Sucintamente, o pedestre é a vítima na

dinâmica do processo que envolve a via, o veículo e o homem, visto que em um acidente que o envolve, conforme mostram as estatísticas, ele é sempre o mais prejudicado (MELO, 2003).

A taxa de mortalidade por atropelamento no Brasil é de aproximadamente 5,6 óbitos por 100 mil habitantes, segundo informações do Ministério da Saúde, referentes ao ano de 2003, nível este quase três vezes maior que países como Estados Unidos, Inglaterra e Canadá. Este indicador varia fortemente segundo as diferentes Unidades da Federação, sendo que o Estado de São Paulo apresenta resultado superior à média nacional, por volta de 9 óbitos por 100 mil habitantes (SEADE, 2006). Muitos municípios paulistas apresentaram, em 2005, índices superiores a 20 óbitos por 100 mil habitantes (ver figura 2.2).

No Estado de São Paulo, os atropelamentos representam uma importante causa de mortalidade, com lugar de destaque entre as mortes provocadas por causas externas, definidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como tipo de acidente ou violência que ocasiona lesões que levam à morte (CID, 1978).

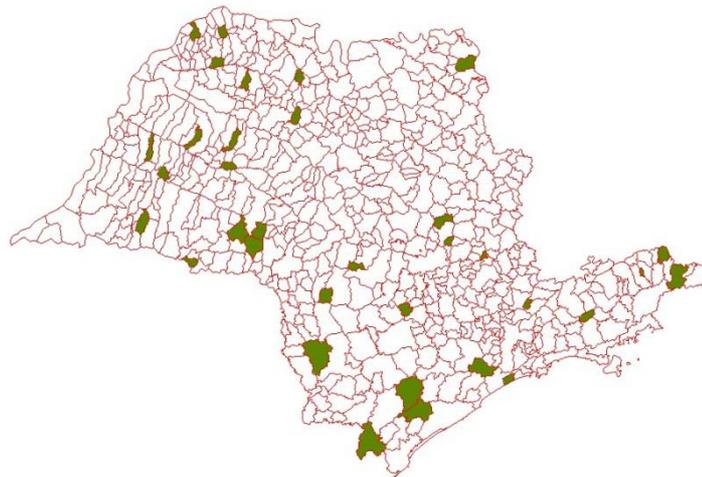


Figura 2.2 – Municípios do Estado de São Paulo com Taxa de Mortalidade por Atropelamento superior a 20 óbitos por 100 mil habitantes (Fonte: SEADE, 2006)

Os elevados níveis de mortalidade por atropelamento devem-se a vários fatores, dentre os quais podem ser citados: falta de infra-estrutura viária, aumento dos serviços de moto-táxi, urbanização acelerada, que ampliou a utilização de veículos motorizados e dificultou o controle dessa circulação, além de fatores como embriaguez e excesso de velocidade (TJAP, 2006). Por vezes, ainda, o pedestre se vê obrigado a trafegar pelas ruas, pois o passeio público acaba sendo utilizado por comerciantes para exposição de mercadorias ou colocação de mesas e cadeiras, o que o coloca em situação arriscada.

No Brasil, os atropelamentos são responsáveis por cerca de 23% das mortes por acidentes de trânsito; esta proporção varia de região para região, sendo que no Estado de São Paulo este número chega à cerca de 32% (MAIA, 2006).

2.4.1 Características do atropelamento

Os atropelamentos atingem, com particular intensidade, a população masculina. Os índices de mortalidade por atropelamento entre os homens são muito superiores aos das mulheres, em todas as Unidades da Federação (MAIA, 2006).

Entre as mulheres nas faixas etárias inferiores a 50 anos, a taxa é menor que 5 óbitos por 100 mil mulheres, aumentando a partir dessa idade. Entre os homens, além de seu patamar ser substancialmente superior ao das mulheres em todas as faixas etárias, a taxa de mortalidade por atropelamento aumenta paulatinamente com a idade, com particular intensidade nas faixas etárias mais avançadas. Em ambos os casos, os índices de 2005 são inferiores aos registrados em 1996 (SEADE, 2006).

Embora a mortalidade por atropelamento entre crianças de 5 a 14 anos de idade seja pequena em comparação com os demais grupos de idade, essa é a terceira principal causa de morte nesse grupo etário, respondendo por 8,8% dos óbitos (MAIA, 2006).

Uma série de patologias, associadas ao envelhecimento, justificam a maior incidência de mortes por atropelamento entre os idosos, destacando a catarata e a retinoplastia diabética, que prejudicam progressivamente a visão. Outro fator, é o declínio das funções músculo-esqueléticas, como a perda da força muscular, da flexibilidade, da coordenação motora e da agilidade, que amplia a dificuldade de atravessar vias mais movimentadas, além da diminuição da capacidade auditiva, que atinge cerca de um terço dos idosos (UNDERWOOD, 1992).

2.4.2 Evolução da Mortalidade por Atropelamento

Até 1988, segundo dados da fundação SEADE, as mortes por atropelamentos apresentavam índices inferiores a 4 óbitos por 100 mil habitantes, o que representava cerca de 10 a 15% dos óbitos por veículo automotor. A partir deste ano, este índice aumenta atingindo, em 1996, cerca de 19 óbitos a cada 100 mil habitantes. A partir de

então, a proporção dos atropelamentos nos acidentes de trânsito passa a oscilar entre 30 e 40% (MAIA, 2006).

Em setembro de 1997, foi aprovada a nova legislação de trânsito, com penalidades mais severas que as anteriores, entre as quais, multas altas e atribuição de pontos por infrações que podem, inclusive, levar à perda da Carteira Nacional de Habilitação (CNH), além de processos judiciais. Assim, passou a vigorar, em janeiro de 1998, o novo Código de Trânsito Brasileiro, cujas mudanças tiveram efeitos imediatos acarretando em quedas nos níveis de mortalidade, tanto nos atropelamentos como nos demais acidentes de trânsito. Em 1996, as mortes por acidentes de trânsito e por atropelamentos ocorridos no Estado de São Paulo, atingiram seus níveis mais elevados ao longo das duas últimas décadas. A partir de 1997, inicia uma tendência de queda, sendo que, em 1998, estes níveis tiveram uma redução significativa e, após 2001, estes índices permaneceram praticamente estáveis. Neste período (a partir de 1998), os atropelamentos tiveram redução de 46%, enquanto que para os demais acidentes de trânsito a redução foi de 23% (MAIA, 2006).

Ao se considerar as taxas de mortalidade para a população residente nos municípios do Estado de São Paulo, para o período de 1996 a 2006, verifica-se reduções importantes em praticamente todos os municípios. O município de São Paulo registrou, no mesmo período, diminuição de 57% nas taxas de mortalidade, passando de 12,1 para 5,13 óbitos por 100 mil habitantes (MAIA, 2006).

Os dados citados mostram que houve queda na mortalidade por atropelamento em praticamente todo o Estado, porém os níveis ainda são considerados elevados. A queda foi intensa em 1998, quando entrou em vigor o novo Código de Trânsito Brasileiro, permanecendo praticamente estável nos anos subseqüentes. Deve-se considerar, ainda, segundo Vasconcelos & Lima (1998), que para cada pessoa que morre por acidente de trânsito, inclusive os atropelamentos, 15 sobreviventes irão ficar com algum tipo de seqüela, sendo que alguns terão lesões irreversíveis.

Enfim, o acidente de trânsito pode ser considerado um fenômeno espacial (RAIA Jr. *et al*, 2001) e, como tal deve ser estudado. A localização geográfica dos dados relacionados aos acidentes de trânsito deve ser considerada no momento de seu estudo. Este importante atributo auxiliará na busca pela existência de padrões de distribuição, tendência e dependência espaciais.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE ESPACIAL

Este capítulo apresenta conceitos de análise e estatística espaciais e aborda questões relacionadas aos dados espaciais, como sua classificação, princípios básicos no tratamento dos dados espaciais e os efeitos espaciais que ocorrem nos seus estudos. Por fim, são apresentadas as análises exploratórias relativas aos padrões pontuais e às áreas.

3.1 Introdução

Compreender a distribuição espacial de dados oriundos de fenômenos ocorridos no espaço constitui, hoje, um grande desafio para a elucidação de questões centrais em diversas áreas do conhecimento, seja de saúde, em ambiente, em geologia, em agronomia, entre tantas outras. Tais estudos vêm se tornando cada vez mais comuns, devido à disponibilidade de sistemas de informações geográficas (SIG) de baixo custo e com interfaces amigáveis. O tratamento de dados sociais, econômicos e ambientais, pela abordagem tradicional, utiliza técnicas estatísticas que não consideram o espaço geográfico, porém, a localização dos fenômenos é muito importante e, em alguns casos, essencial. A ênfase da análise espacial é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita. A idéia central é incorporar o espaço à análise que se deseja fazer (CÂMARA *et al*, 2000a).

Em geral, a análise espacial é composta por procedimentos iniciais que incluem métodos genéricos de análise exploratória associados à apresentação visual dos dados sob forma de gráficos e mapas, e a identificação de padrões de dependência espacial no fenômeno em estudo. Estes procedimentos permitem descrever a distribuição das variáveis de estudo, identificar situações atípicas não só em relação ao tipo de

distribuição, mas também em relação aos vizinhos, e buscar a existência de padrões na distribuição espacial e de dependência espacial presentes no fenômeno (CÂMARA *et al*, 2000a).

Um exemplo pioneiro, onde intuitivamente foi incorporado o espaço às análises realizadas, ocorreu no século XIX, por John Snow. Em 1854, ocorria em Londres uma das várias epidemias de cólera trazidas das Índias. Pouco se sabia sobre as causas da doença. Duas vertentes científicas procuravam explicá-la: uma relacionando-a aos miasmas, concentrados nas regiões baixas e pantanosas da cidade e outra, à ingestão de água insalubre. Em um mapa foram localizados os casos de óbitos ocasionados pela doença e as bombas de água que abasteciam a cidade. Com isto, foi possível visualizar uma destas bombas como o epicentro da epidemia. Estudos posteriores confirmaram esta hipótese, corroborada por outras informações, tais como a localização do ponto de captação da água desta bomba, em local onde a concentração de dejetos, inclusive de pacientes coléricos, era máxima. Essa é uma situação típica onde a relação espacial entre os dados contribuiu significativamente para o avanço na compreensão do fenômeno, sendo um dos primeiros exemplos de análise espacial (CÂMARA *et al*, 2000a).



Figura 3.1 – Mapa de localização de casos de contaminação por chumbo da cidade de Bauru/SP, ano de 2002 (Fonte: PADULA *et al.*, 2006)

A Figura 3.1 apresenta um exemplo em que a visualização espacial de dados contribuiu para a compreensão de um fenômeno ocorrido na cidade de Bauru, no interior paulista. Em 2002, uma empresa de reciclagem de baterias automotivas provocou contaminação por chumbo em moradores da região que circundava a empresa. Para compreensão da área de alcance e influência das atividades de reciclagem da empresa em relação aos moradores contaminados, foram localizados no mapa todos os casos de moradores que apresentavam algum nível de chumbo no sangue. O que pôde ser observado – entre outros fatores – foi que todos os casos se concentravam à uma distância de até 1200 metros do epicentro da contaminação (PADULA *et al.*, 2006).

3.2 Classificação de dados espaciais

Uma das formas de divisão dos dados com os quais a estatística espacial lida, seria classificá-los como ambientais ou socioeconômicos. Dados ambientais seriam todos os tipos de dados obtidos por coleta e que descrevem características físicas do meio, como por exemplo, mapas geológicos, topográficos, ecológicos, fitogeográficos e pedológicos. Dados deste tipo podem ser analisados como se constituíssem uma amostra de uma superfície contínua (CÂMARA *et al.*, 2001).

Os dados socioeconômicos tratam de aspectos associados a levantamentos populacionais (como os censos demográficos), imóveis, saúde. Estes dados apresentam a localização específica do indivíduo no espaço, mas por questão de confidencialidade são agrupados em áreas delimitadas por polígonos fechados (como por exemplo, os setores censitários).

Para Assunção (2001), considerando que a estatística espacial é um ramo da estatística que estuda métodos científicos para a coleta, descrição, visualização e análise de dados que possuem coordenadas geográficas, os dados espaciais podem ser classificados em quatro categorias:

- Dados de processos pontuais;
- Dados de superfícies aleatórias;
- Dados de área;
- Dados de interação espacial.

Os dados ambientais e socioeconômicos, segundo Câmara *et al* (2000a), podem ser separados em três classes:

- **Eventos ou padrões pontuais:** fenômenos expressos através de ocorrências identificadas como pontos localizados no espaço, denominados processos pontuais;
- **Superfícies contínuas:** são dados estimados a partir de um conjunto de amostras de campo, que podem estar regularmente ou irregularmente distribuídas;
- **Áreas com Contagens e Taxas Agregadas:** são dados associados a levantamentos populacionais, como censos e estatísticas de saúde, e que originalmente se referem a indivíduos localizados com pontos específicos do espaço. Por razões de confidencialidade, estes dados são agregados em unidades de análise, usualmente delimitadas por polígonos fechados (setores censitários, zonas de endereçamento postal, municípios, estados).

Os dados podem ser classificados seguindo outra denominação: dados de processos pontuais e dados de áreas. Estes dados guardam, respectivamente, forte relação com os dados ambientais e socioeconômicos. Para Cressie (1993), estes dois tipos de dados espaciais seriam ainda denominados, respectivamente, de *Geostatistical data* (dados contínuos no espaço) e *Lattice data* (dados agrupados em áreas). O primeiro grupo se refere a dados pontuais, como uma amostra de uma distribuição contínua. O segundo grupo consiste em uma coleção fixa de localizações espaciais discretas (pontos ou polígonos).

3.3 Princípios básicos no tratamento dos dados espaciais

Cinco são os princípios básicos no tratamento dos dados espaciais, segundo Paelink & Klaassen (1979):

- **Interdependência:** Todo modelo espacial tem que se caracterizar por sua interdependência, ou seja, devem ser incorporadas as relações mútuas entre as observações e as variáveis. Um exemplo pode ser verificado em áreas onde residem pessoas com elevado nível de renda, uma vez que seus gastos não se restringem à área em que vivem, mas ocorrem também nas

regiões vizinhas, igualmente estimulando o crescimento econômico destas últimas.

- **Assimetria:** As relações espaciais são, em princípio, assimétricas. Um exemplo ocorre no comércio, onde a probabilidade de um residente de periferia ir fazer compras no centro é maior do que a do residente do centro (ou próximo dele) ir fazer compras na periferia.
- **Alotropia:** As causas de um fenômeno espacial podem não se manifestar diretamente no lugar onde ele ocorre. Assim, por exemplo, os fenômenos migratórios se explicam não só pela comparação de vantagens e inconvenientes nos espaços de origem e destino, mas também devido a causas que ocorrem em outros lugares do espaço (nível dos salários, por exemplo).
- **Não linearidade:** A não linearidade de soluções espaciais ótimas obtidas a priori conduz a modelos que requerem especial atenção para sua especificação, uma vez que estes poderão ter comportamento não linear.
- **Inclusão de variáveis topológicas:** Um modelo espacial deve incorporar variáveis topológicas, como coordenadas, distâncias, superfícies, densidades.

Nem sempre será possível observar estes cinco princípios de construção de modelos espaciais e, provavelmente, podem haver outros princípios não aqui especificados. Em qualquer caso, é importante lembrar que em qualquer modelo estatístico que venha definida sua dimensão espacial deverá considerar-se que estes dados são fortemente interdependentes.

3.4 Efeitos espaciais no estudo de dados espaciais

Segundo Serrano & Valcarce (2000), quanto aos efeitos espaciais que podem ocorrer no estudo dos dados espaciais, estes se dividem em heterogeneidade espacial e autocorrelação ou dependência espacial, a seguir descritos:

- **Heterogeneidade espacial:** a heterogeneidade ocorre quando os dados utilizados para explicar um mesmo fenômeno são de unidades espaciais muito distintas.

- **Autocorrelação ou dependência espacial:** ocorre em consequência da existência de uma relação funcional entre o que ocorre em um determinado ponto do espaço e o que ocorre em outro local. Este fenômeno pode ser entendido como uma situação em que observações próximas no espaço possuem valores similares (correlação de atributos). Neste caso, o desafio da análise é medir o grau de associação espacial entre observações de uma ou mais variáveis. Importante notar que com a existência da dependência espacial não é possível alterar valores de uma variável sem afetar a informação contida na mostra.

3.5 Análise exploratória de dados espaciais

Nos últimos anos, tem se generalizado a utilização da análise exploratória de dados espaciais (AEDE) como metodologia para estudar padrões e associações de dados, especialmente os pertencentes a grandes bases de dados. A AEDE se concentra na forma explícita dos efeitos espaciais e consiste em conjunto de técnicas que permitem descrever distribuições espaciais, identificar localizações atípicas (*outliers*) e descobrir esquemas de associação espacial (*cluster*) e sugerir diferentes situações espaciais ou outras formas de instabilidade espacial (SERRANO & VALCARCE, 2000).

A AEDE é feita por um conjunto de ferramentas gráficas e descritivas cujo objetivo é identificar propriedades espaciais dos dados para detectar padrões, formular hipóteses a partir da localização dos dados e avaliar aspectos de modelagem espacial. Esta análise é baseada tanto em métodos gráficos e visuais como em técnicas numéricas, normalmente estatísticas. Tem sido utilizada nos últimos anos como metodologia para estudar padrões e associações de dados, especialmente quando se trata de grande quantidade de dados (KREMPI, 2004).

Anselin (1996) apresenta uma classificação das diferentes perspectivas e técnicas de análise exploratória de dados espaciais. A classificação segue duas dimensões: a **primeira** refere-se à distinção entre indicadores globais e locais de associação espacial e, a **segunda**, centra-se na distinção entre as estatísticas baseadas na vizinhança e distância. Cada uma requer um grupo de métodos específicos e distintos para a exploração de dados espaciais.

Com relação à **primeira dimensão**, os indicadores globais constituem uma aproximação mais tradicional do efeito da dependência espacial, em que o esquema geral de dependência pode ser resumido em um único valor. Pode ser obtido, por exemplo, através do Índice Global de Moran e do Índice Global de Geary, ou ainda, através do variograma (para dados pontuais). São utilizados para conhecer o grau de interação do conjunto de dados espaciais. Os indicadores locais, também conhecidos como LISA (*Local Indicator of Spatial Association* – Índice Local de Associação Espacial) são, por outro lado, valores associados a cada área específica. Fornecem, assim, informação acerca da relevância de um agrupamento espacial de valores ao redor de cada uma destas áreas, além da soma destes valores ser proporcional ao indicador global de associação espacial. Estes indicadores são de fácil interpretação mediante a possibilidade de representação dos valores individuais de cada área através de mapas.

Já, a **segunda dimensão**, faz a distinção entre os dois modelos de dados nos quais a autocorrelação pode ser analisada. O primeiro modelo é baseado em dados pontuais e o segundo, em uma coleção fixa de localizações espaciais discretas (pontos ou polígonos). No primeiro caso, assume-se que a interação espacial é uma função contínua da distância entre pares de observações. No segundo caso, a interação espacial é entendida como uma função degrau (*step function*), segundo a qual uma localização interage com um dado grupo de vizinhos. Esta segunda aproximação, segundo Serrano & Valcarce (2000), a predominante em estatística espacial, assim como a mais usada em estatística aplicada a ciências sociais, requer uma formalização da estrutura de vizinhança para cada observação, isto é, a topologia e a ordenação espacial dos dados na forma de uma matriz de pesos espaciais. Assim, em toda técnica de análise exploratória de dados espaciais são encontrados três elementos básicos: matriz de proximidade espacial (W), vetor dos desvios (Z) e vetor de médias ponderadas (Wz).

Em resumo, Anselin (1996) apresenta as técnicas de AEDE, classificando-as quanto à associação espacial e quanto ao modelo de dados (figura 3.2). A associação espacial pode ser local ou global:

- **Associação global:** constitui a aproximação mais tradicional do efeito de dependência espacial, por um esquema geral de dependência, que se resume a um único indicador, como é o exemplo do Índice Global de Moran e do Índice de Geary. As medidas globais de dependência espacial podem ser utilizadas para conhecer a categoria de interação espacial nos dados.
- **Associação local:** os indicadores locais de associação espacial LISA (*Local Indicator of Spatial Association*) são valores associados a cada área específica.

Fornecem, assim, informação acerca da relevância de um agrupamento espacial de valores ao redor de cada uma destas áreas, além da soma destes valores ser proporcional ao indicador global de associação espacial.

Quanto ao modelo de dados, a classificação configura-se da seguinte forma:

- **Lattice data:** localizações espaciais discretas (pontos ou polígonos)
- **Geoestatistical data:** dados pontuais

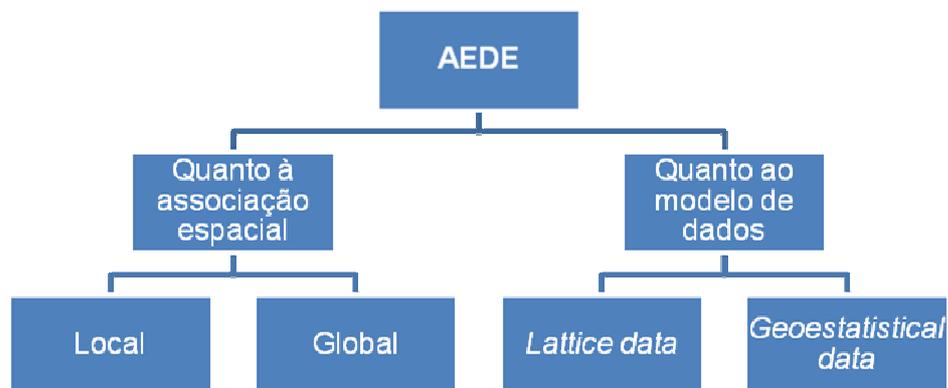


Figura 3.2 – Classificação da AEDE (Fonte: ANSELIN, 1996)

3.5.1 Análise exploratória de padrões pontuais

Um padrão pontual representa um conjunto de dados consistindo de uma série de localizações pontuais (p_1, p_2, \dots) que indicam a ocorrência de eventos de interesse dentro da área de estudo. A palavra “evento” é utilizada para expressar qualquer tipo de fenômeno localizado no espaço. Estes fenômenos podem representar, por exemplo, crimes, ocorrências de doenças, localizações de espécies vegetais, etc. (CÂMARA *et al.*, 2001).

Conforme observado por Krempi (2004), o objetivo da análise espacial de pontos é examinar se o conjunto de eventos apresenta algum tipo de padrão sistemático ou aleatório, buscando entender em qual escala este padrão ocorre. Para tal, alguns métodos, como o estimador de intensidade (*Kernel Estimation*), modelagem de distribuição de pontos e o método do vizinho mais próximo, permitem verificar o padrão dos dados analisados.

A análise de padrões pontuais, segundo Câmara & Carvalho (2000), tem como objetivo a própria localização espacial dos eventos em estudo, testando hipóteses sobre o padrão observado: se é aleatório ou apresenta-se em aglomerados ou regularmente distribuído. Pode-se também estabelecer o relacionamento de ocorrência dos eventos com outras características, como por exemplo, algum fator ambiental. O tipo de dado nestes estudos consiste em uma série de coordenadas de pontos dos eventos de interesse dentro da área de estudo. Os dados de distribuições pontuais têm as seguintes características:

- A área dos eventos não é uma medida válida;
- Os pontos não estão associados a valores, mas apenas à ocorrência dos eventos considerados;
- Em alguns estudos os pontos podem estar associados a atributos de identificação. Quando este atributo é elemento do estudo, através da comparação da distribuição espacial destes atributos, denomina-se processo pontual marcado.

De acordo com Câmara & Carvalho (2000), a distribuição de pontos pode ser descrita como:

- **Efeitos de primeira ordem:** são considerados globais ou de larga escala, e correspondem a variações no valor médio do processo no espaço, representando a intensidade do processo, ou seja, o número de eventos por unidade de área;
- **Efeitos de segunda ordem:** denominados locais ou de pequena escala, representando a dependência espacial do processo, proveniente da estrutura de correlação espacial.

De acordo com Câmara & Carvalho (2000), uma alternativa simples para analisar o comportamento de padrões de pontos, dentro dos efeitos de primeira ordem, é estimar a intensidade pontual do processo em toda a região de estudo. Para isto, pode-se ajustar uma função bi-dimensional sobre os eventos considerados, compondo uma superfície cujo valor será proporcional à intensidade de amostras por unidade de área. Esta função realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse. O estimador de intensidade é muito útil para fornecer uma visão geral de primeira ordem dos eventos.

Para Câmara *et al* (2000b), a maior parte das ocorrências, sejam elas naturais ou sociais, apresentam entre si uma relação que depende da distância. Essa noção parte da chamada primeira lei da geografia que diz que todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes. Segundo Cressie (1993), a dependência espacial está presente em todas as direções e fica mais fraca na medida em que aumenta a dispersão na localização dos dados.

Para Câmara *et al* (2000b), a expressão computacional do conceito de dependência espacial é a autocorrelação espacial, termo derivado do conceito estatístico de correlação, utilizado para mensurar o relacionamento entre duas variáveis aleatórias. A autocorrelação é realizada com a mesma variável aleatória, medida em locais distintos do espaço. Para medir a autocorrelação espacial, pode-se utilizar diferentes indicadores, todos baseados na mesma idéia: verificar como varia a dependência espacial, a partir da comparação entre os valores de uma mostra e de seus vizinhos. Os indicadores de autocorrelação espacial são casos particulares de uma estatística de produtos cruzados, como mostra a Equação 3.1:

$$\Gamma(d) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}(d) \varepsilon_{ij} \quad (3.1)$$

Este índice expressa a relação entre variáveis aleatórias como um produto de duas matrizes. Dada uma distância d , a matriz w_{ij} fornece uma medida de contigüidade espacial entre as variáveis aleatórias z_i e z_j , por exemplo, informando se são separadas de distância menor que d . A matriz ε_{ij} fornece uma medida de correlação entre estas variáveis aleatórias, que pode ser o produto destas variáveis. Valores significativos de índices de autocorrelação espacial são evidências de dependência espacial.

Bailey (1995) agrupou as técnicas de AEDE da seguinte forma:

- **Análise descritiva simples, transformação e caracterização de dados:** aplicações de métodos estatísticos, numéricos e gráficos, para manipular e caracterizar conjuntos de dados, incluindo histogramas, diagramas de dispersão, entre outros;
- **Método do vizinho mais próximo e funções K:** comparam graficamente os padrões de distribuição espacial dos eventos (pontos) observados com aqueles esperados a partir das funções de probabilidade conhecidas,

determinando a relação entre cada evento e aqueles mais próximos a ele, ou entre todos os eventos considerados;

- **Métodos de suavização Kernel e bayesianos:** são técnicas não paramétricas para eliminar a variabilidade em conjuntos de dados, mantendo as características espaciais essenciais;
- **Autocorrelação espacial e estrutura de covariância:** buscam descrever como e quanto são semelhantes os atributos dos pontos posicionados geograficamente próximos;
- **Modelagem econométrica espacial:** permite que a variação espacial seja explicada por um conjunto de variáveis independentes, como na regressão linear tradicional, considerando, porém, uma ponderação da autocorrelação espacial destas variáveis, que busca quantificar as diferenças de variação em cada direção possível, ou no aspecto temporal. Incluem-se, neste grupo, também as técnicas de krigagem e cokrigagem, que ponderam a regressão simples em função da análise do variograma da amostra;
- **Modelagem espacial linear:** extensão das técnicas de regressão espacial citadas acima, aplicadas a variáveis categóricas;
- **Técnicas multivariadas:** incorporam o caráter espacial na modelagem de múltiplas variáveis dependentes.

3.5.2 Análise exploratória de áreas

A análise espacial de áreas, principal enfoque desta pesquisa, trabalha com dados que envolvem elementos que associam o mapa geográfico a uma base de dados. Este mapa geográfico é dividido por áreas, onde cada uma delas possui uma ou mais variáveis aleatórias (y_1, \dots, y_n) que representam um valor para toda área e não apenas o valor de um ponto específico (este ponto seria, por exemplo, o centróide da área). Neste caso, não se conhece a localização exata do evento, mas sim um valor agregado por área. Este tipo de dado é, em geral, fornecido em forma agregada como, por exemplo, os dados do censo, que são agrupados em setores censitários, a fim de manter o sigilo dos domicílios entrevistados (ASSUNÇÃO, 2001).

A análise espacial de áreas configura-se em métodos de análise de dados espaciais cuja localização está associada a áreas delimitadas por polígonos, como

exemplo, eventos agregados por municípios, bairros ou setores censitários, onde não se dispõe da localização exata dos eventos, mas de um valor por área. Para Câmara *et al* (2000b), a forma usual de apresentação de dados agregados por áreas é o uso de mapas coloridos com o padrão espacial do fenômeno (figura 3.3).

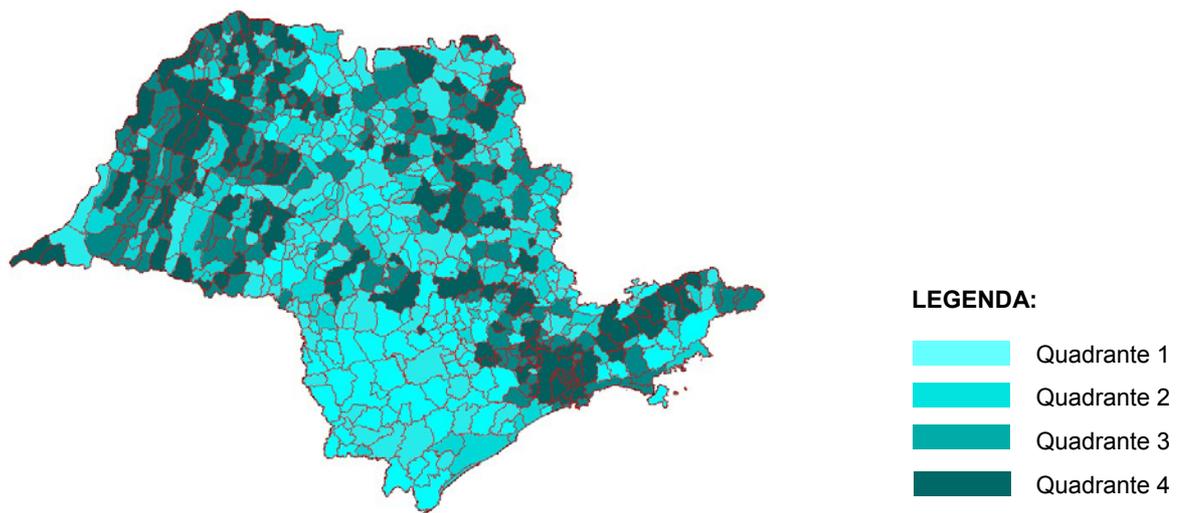


Figura 3.3 – Distribuição da frequência escolar dos municípios do Estado de São Paulo, do ano de 2000, agrupadas por quintil (Fonte: SEADE, 2007)

De acordo com Krempi (2004), o objetivo da análise é verificar a existência de um padrão espacial nos valores observados. Quando este padrão espacial é observado, se faz necessário verificar se é aleatório ou apresenta uma agregação definida, ou ainda, se esta distribuição pode ser associada a causas mensuráveis.

Quando são utilizadas técnicas de estatística espacial para análise de dados de áreas, estas são apresentadas em forma de índices que medem a associação espacial (*Índice de Moran*), gráfico de espalhamento (*Box Map*) e mapas (distribuição espacial). Estes índices auxiliam na identificação de agrupamentos de objetos cujos atributos possuem valores altos e baixos, áreas de transição e casos atípicos.

O primeiro passo para iniciar a análise espacial de dados agregados por área, é escolher o modelo inferencial a ser utilizado. Para Câmara *et al* (2000b), a hipótese mais comum é supor que as áreas são diferenciadas, e que cada uma delas possui uma identidade própria. Do ponto de vista estatístico, isto implica em que cada área apresenta uma distribuição de probabilidade distinta das demais, o chamado *modelo espacial discreto*. A alternativa é supor que o fenômeno estudado apresenta continuidade espacial, formando uma superfície, o chamado *modelo espacial contínuo*. Neste caso, as áreas são

consideradas apenas um suporte para coleta de dados, e o modelo inferencial desconsidera os limites de cada área.

As técnicas de análise exploratória aplicadas a dados espaciais são essenciais ao desenvolvimento das etapas da modelagem estatística espacial, em geral, sensível ao tipo de distribuição, à presença de valores extremos e à ausência de estacionaridade. A forma mais simples e intuitiva de análise exploratória é a visualização de valores extremos nos mapas. O uso de diferentes pontos de corte da variável induz a visualização de diferentes aspectos.

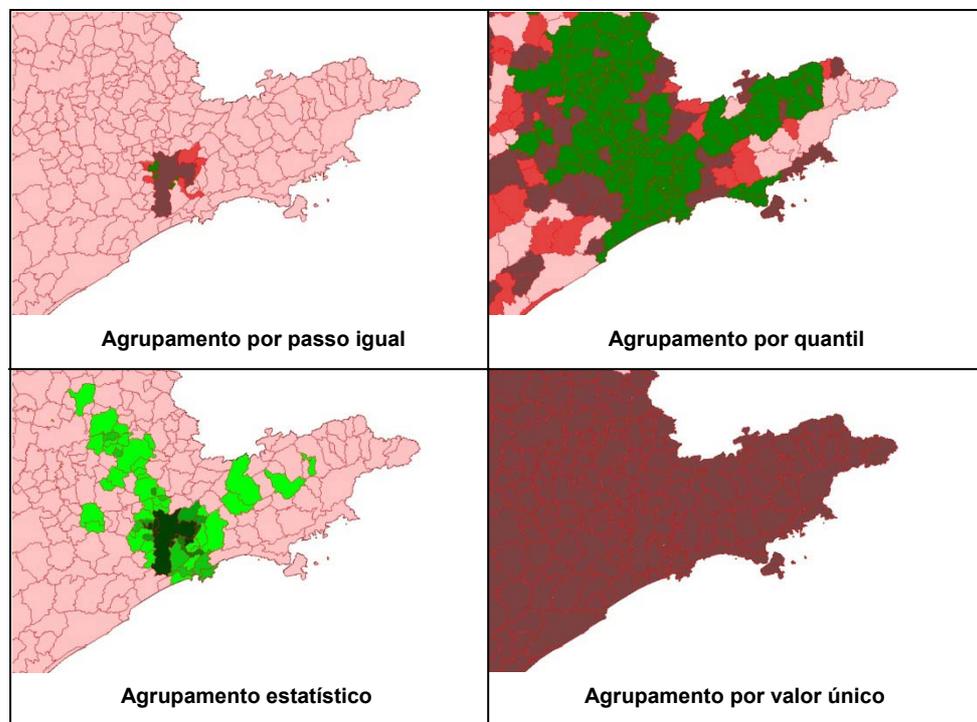


Figura 3.4 – Comparação das técnicas de agrupamento do SPRING para uma mesma variável

Como pode ser visto na Figura 3.4, o Sistema de Processamento de Informações Geográficas – SPRING dispõe de quatro técnicas de agrupamento da variável (INPE, 2006):

- **Passo igual:** os valores máximo e mínimo são divididos pelo número de classes;
- **Quantil:** aloca os polígonos em quantidades iguais pelas cores;

- **Estatístico:** a distribuição da variável é feita pelo cálculo de seu desvio padrão, apresentado em gradações de cores diferentes para valores acima e abaixo da média.
- **Valor único:** cada polígono é alocado com seu próprio valor da variável.

3.6 Estatística espacial

Nas últimas décadas, a economia regional e urbana tem experimentado uma forte tendência metodológica baseada na necessidade de trabalhar com a natureza espacial dos dados. Após a fase inicial de reconhecimento da necessidade de se trabalhar com a localização geográfica dos dados e com o objetivo de resolver os problemas que supõe a presença de efeitos espaciais, especialmente os relacionados à dependência espacial, surge a estatística espacial como subdisciplina da estatística tradicional, termo este criado por Paelink e Klaassen (1979), na década de setenta.

Para Anselin (1988), a estatística espacial é definida mais concretamente como a coleção de técnicas que tratam as peculiaridades causadas pelo espaço na análise estatística dos modelos tradicionais da ciência regional.

Segundo Câmara *et al* (2001), o termo Estatística Espacial designa um conjunto amplo de técnicas de análise geográfica que utiliza técnicas quantitativas para caracterizar o fenômeno em estudo. Estas técnicas incluem métodos estatísticos que procuram descrever a variação espacial do fenômeno em estudo, a partir de amostras disponíveis. Os fenômenos estudados em estatística espacial são expressos através de ocorrências pontuais ou em áreas. A representação pontual pode corresponder a dados como crimes, ocorrências de doenças, localização de espécies vegetais e ocorrências de acidentes. A representação por áreas pode corresponder a fenômenos agregados por municípios, bairros ou setores censitários, como população, mortalidade e renda.

As ferramentas de estatística espacial podem ser destinadas à:

- **Seleção** - que é feita através da navegação em bancos de dados, identificando os dados de interesse, realizando consultas e apresentando mapas simples;
- **Manipulação** - que envolve todas as funções que criam dados espaciais;
- **Análise exploratória** - que descreve e visualiza dados espaciais, verificando a existência de padrões de associação espacial e;

- **Análise confirmatória** - que envolve o conjunto de modelos de estimação e procedimentos para sua validação.

A visualização é um fator importante da estatística espacial, mas não tão útil se não for possível descrever, comparar e interpretar dados. A estatística descritiva ou inferencial é, portanto, eficaz e essencial para tornar explícito o que está apenas implícito em mapas, ou para analisá-los chamando a atenção para características que não eram perceptíveis apenas pela visualização (ASSUNÇÃO, 2001).

Para Krempi (2004), isto explica porque o interesse por ferramentas de estatística espacial, associadas aos sistemas de informações geográficas, tem crescido gradativamente. Alguns resultados obtidos pelos pesquisadores na área sugerem que os grupos de métodos para os quais a ligação com o SIG-Sistema de Informações Geográficas vêm produzindo melhores resultados seriam aqueles das estatísticas descritivas simples e os relacionados com a estrutura de análise de covariância. Outras áreas da estatística, tais como métodos de alisamento, funções-K e regressão espacial podem produzir benefícios equivalentes.

Praticamente nenhuma das ferramentas tradicionais existentes em pacotes estatísticos está preparada para tratar com dados de natureza espacial, pelo fato de ignorarem os efeitos da localização (uma das variáveis mais importantes para o tratamento de dados espaciais), dependência e heterogeneidade espacial. Pode-se inclusive notar que, para observações iniciais de relações bivariadas e multivariadas, muitas técnicas de análise exploratória levam a conclusões incorretas quando se verifica a presença de autocorrelação espacial (KREMPI, 2004).

Segundo Anselin & Bao (1997), esta coleção de técnicas permite descrever e visualizar distribuições espaciais, identificar situações atípicas (*outliers*), descobrir padrões de associação espacial, agrupamentos de valores semelhantes (*clusters*) e sugerir regimes espaciais ou outras formas de heterogeneidade espacial. Entende-se por *outliers* espaciais, dados cuja localização podem exercer uma forte influência na hora de realizar estimações. Para que sua presença não atrapalhe na análise, é necessário verificar quais dados são considerados *outliers*, a fim de distribuir seus efeitos. Já, o *cluster* ou agrupamento espacial pode ser definido como um agregado de ocorrências no espaço ou a ocorrência de valores semelhantes em áreas próximas.

A característica fundamental da estatística espacial que a diferencia da estatística clássica, é o uso explícito da referência geográfica no modelo, isto é, o uso explícito das coordenadas espaciais no processo de coleta, descrição e análise dos dados. Assim sendo, o interesse está centrado nos processos que ocorrem no espaço e os

métodos empregados buscam descrever e analisar o comportamento destes processos. Esta característica faz com que estudos sobre o assunto exibam comportamento complexo para serem analisados por métodos tradicionais de estatística (ASSUNÇÃO, 2001).

Segundo Landim (1998), quando se utiliza a estatística clássica para representar as propriedades dos valores amostrais, presume-se que estes sejam realizações de uma variável casual, as posições relativas da amostra são ignoradas e presume-se que todos os valores amostrais tenham a mesma probabilidade de serem escolhidos. Assim, muitos modelos de estatística exigem a independência das variáveis.

Para Krempi (2004), a estatística espacial traz resultados diferentes daqueles obtidos pela estatística clássica, sendo os primeiros, geralmente mais robustos por incorporarem a dimensão espacial. Para sua análise são necessárias pelo menos as informações sobre a localização e os atributos, que são valores associados aos dados independentemente da forma como sejam medidos, e parte-se do pressuposto que os dados são espacialmente dependentes.

Segundo Levine (1996), as estatísticas usadas para descrever pontos ou áreas podem ser subdivididas em três categorias gerais:

- **Medidas de distribuição espacial:** descrevem o centro, a dispersão, direção e forma da distribuição de uma variável;
- **Medidas de autocorrelação espacial:** descrevem a relação entre as diferentes localizações para uma variável simples, indicando o grau de concentração ou dispersão (por exemplo, análise de agrupamentos);
- **Medidas de associação espacial entre duas ou mais variáveis:** descrevem a correlação ou associação entre variáveis distribuídas no espaço, por exemplo, a correlação entre a localização de lojas de bebidas com pontos onde ocorrem muitos acidentes de trânsito.

CAPÍTULO 4

FERRAMENTAS DE ANÁLISE E ESTATÍSTICA ESPACIAL

Este capítulo apresenta as ferramentas de estatística espacial para a análise de áreas, visto que este trabalho estuda os atropelamentos ocorridos nos municípios paulistas, configurados como polígonos ou áreas.

As ferramentas de estatística espacial aqui apresentadas têm por objetivo determinar a existência de padrões espaciais nos valores observados. Os padrões espaciais considerados dizem respeito à distribuição de ocorrências ou fenômenos cuja localização está associada a áreas (delimitadas por polígonos). São fenômenos agregados por estados, municípios, bairros ou setores censitários, como população, mortalidade ou renda. Como etapas de análise exploratória na análise de áreas, segundo Câmara *et al.* (2001), podem ser citadas:

- Estimador de intensidade por áreas;
- Matrizes de proximidade espacial;
- Média móvel espacial;
- Indicadores globais de autocorrelação espacial; e
- Indicadores locais de autocorrelação espacial.

4.1 Estimador de intensidade por áreas – *Kernel Estimation*

O estimador de intensidade – *Kernel Estimation*, pode ser utilizado para fornecer uma primeira aproximação da distribuição espacial do padrão espacial. Quando os valores observados representam uma medida média como taxa de mortalidade, K pode

ser utilizado como um estimador para calcular o valor médio do atributo por unidade de área. O estimador de intensidade por áreas é dado por (BAILEY & GATRELL, 1995):

$$\mu_{i(s)} = \frac{\sum_{t=1}^n k\left(\frac{s-s_t}{\tau}\right) y_t}{\sum_{t=1}^n k\left(\frac{s-s_t}{\tau}\right)} \quad (4.1)$$

$K(.)$ é uma função bivariada de densidade de probabilidade bivariada, escolhida de forma adequada para construir uma superfície contínua sobre os dados. $\tau > 0$ é chamada largura de faixa e controla a suavização da superfície gerada; trata-se do raio de uma superfície centrada no ponto de estimação s que indica quantos eventos s_i contribuem para a estimativa da função intensidade μ .

4.2 Matrizes de proximidade espacial

É possível detectar certa semelhança entre os conceitos de autocorrelação espacial e temporal, na medida que em ambos os casos se produz um não cumprimento das hipóteses de independência entre as observações amostrais. Contudo existe uma diferença importante entre esses casos, pois a dependência temporal é unidirecional (o passado explica o presente). Já a dependência espacial é multidirecional, isto é, uma região pode estar afetada não somente por outra região adjacente a ela, mas sim por todas as outras que a rodeiam. Esta característica faz com que técnicas para análise de séries temporais não possam ser aplicadas a dados espaciais (SERRANO & VALCARCE, 2000).

Quando se trata do estudo da dependência espacial de dados de área, o elemento chave desta análise é o conceito da matriz de proximidade espacial. A matriz de proximidade espacial (W) estima a variabilidade espacial de dados de áreas, sendo uma ferramenta muito útil para descrever o arranjo espacial dos objetos. A matriz de proximidade espacial é uma matriz quadrada, não estocástica, cujos elementos W_{ij} refletem a intensidade da interdependência existente entre as regiões i e j . Na matriz $W(n$

x n) cada elemento W_{ij} representa uma medida de proximidade entre A_i e A_j , ou seja, W_{ij} representa uma medida de proximidade espacial entre o polígono i e o polígono j , sendo A_i e A_j as zonas que estão sendo analisadas, e onde $W_{ij} = 0$ (KREMPI, 2004).

O valor W pode ser baseado em algumas medidas de adjacência, tais como:

- $W_{ij} = 1$, se o centróide de A_i está a uma determinada distância de A_j e $W_{ij} = 0$, caso contrário;
- $W_{ij} = 1$, 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 , A_j e l_i é o perímetro de A_i .

Muitas vezes, é importante especificar medidas de proximidade de diferentes ordens, chamadas de faixas de distância, onde a proximidade de primeira ordem é obtida pela conexão de duas zonas, a de segunda ordem por zonas que não se conectam diretamente, mas são contíguas, e assim por diante. A Figura 4.1 mostra um exemplo simples de proximidade espacial, em que os valores dos elementos refletem o critério de adjacência (a matriz é 1 se as áreas se tocam).

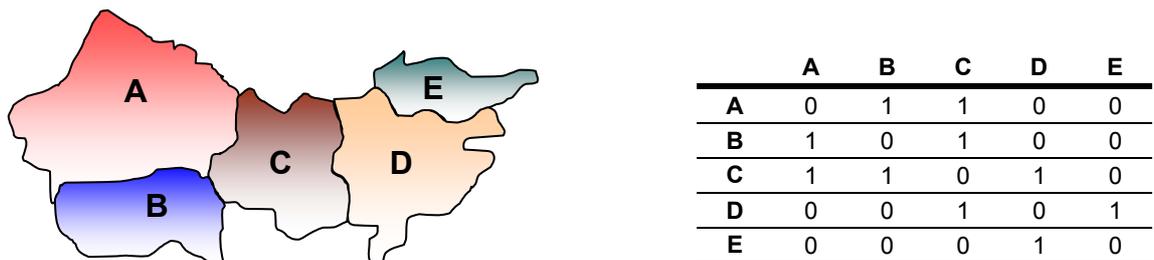


Figura 4.1 – Áreas e matriz de proximidade espacial

4.3 Média espacial móvel

A média espacial móvel constitui uma forma simples de explorar a variação da tendência espacial dos dados através do cálculo da média dos valores dos vizinhos.

Isto reduz a variabilidade espacial, pois a operação tende a produzir uma superfície com menor flutuação que os dados originais.

Para o cálculo da média espacial móvel, é necessário conhecer o vetor dos desvios. O vetor dos desvios (Z) é obtido a partir da média geral (μ). Cada elemento deste vetor é calculado subtraindo-se o valor μ do valor do atributo para cada região. Este cálculo é expresso por:

$$z_i = y_i - \mu \quad (4.2)$$

Onde: z_i é o vetor dos desvios;
 y_i é o vetor com os valores do atributo analisado; e
 μ é média geral

O vetor das médias ponderadas (Wz), também chamado de média dos valores dos vizinhos ou média espacial móvel, é uma medida útil para o cálculo da variação da tendência espacial. A estimativa da média móvel espacial é obtida pela expressão 4.3:

$$\mu_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} y_j}{\sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (4.3)$$

Onde: μ_i são médias ponderadas
 $\sum_{j=1}^n w_{ij}$ é a matriz de proximidade espacial
 y_j é o valor do atributo

A utilização da média espacial móvel permite a identificação de padrões e tendências espaciais. Pode ser empregada para estudar a dependência espacial do valor de determinado atributo através da verificação da análise de autocorrelação dos valores, de acordo com sua localização no espaço, advindo daí o conceito de autocorrelação

espacial (CÂMARA, *et al.*, 2001). A autocorrelação espacial mede o quanto o valor observado de um atributo numa região é independente dos valores desta mesma variável nas localizações vizinhas.

4.3.1 Gráfico de barras

De acordo com Câmara *et al.* (2001), uma forma prática de apresentar a média espacial móvel é por meio de um gráfico de barras, em que é comparado o valor do atributo com sua média local. Neste caso, pode-se considerar que regiões onde o valor do atributo é semelhante à sua média local (sejam estes valores altos ou baixos), são locais de autocorrelação espacial positiva. Já os casos de áreas com grande diferença entre o valor do atributo e os valores da média local indicam pontos de transição entre regimes espaciais.

4.4 Indicadores globais de autocorrelação espacial

A informação que se busca através do cálculo da autocorrelação espacial é de quanto o valor de uma variável em uma área é parecido com o valor do vizinho mais próximo e quanto é diferente do vizinho mais distante. A autocorrelação espacial ocorre quando observações organizadas no espaço influenciam-se mutuamente. Para Câmara *et al.* (2001), a autocorrelação espacial mede o quanto o valor observado de um atributo numa região é independente dos valores desta mesma variável nas localizações vizinhas.

O valor da autocorrelação pode ser positivo ou negativo. Diante de um caso de elevado nível de autocorrelação espacial positiva, os valores observados em uma localização tenderão a ser similares aos valores de seus vizinhos, isto é, a presença de um determinado fenômeno em uma certa região influencia as regiões próximas com o mesmo fenômeno. Em casos extremos, o valor em uma localização permitirá prever exatamente os valores observados nas localizações vizinhas (SERRANO & VALCARCE, 2000).

Quando existe um nível elevado de autocorrelação espacial negativa, os valores baixos em uma localização estão rodeados de valores altos, ou seja, a média ponderada é maior para os vizinhos do que o valor observado na própria localização, ou vice-versa, isto é, a presença deste fenômeno dificulta a sua aparição em regiões vizinhas. Esta diferença pode ser mostrada por gráficos de barras.

Uma das formas de medir a autocorrelação espacial é através do Índice Global de *Moran*, cujo valor varia de -1 a +1, fornecendo uma medida geral da associação espacial. Valores próximos de zero indicam a inexistência de autocorrelação espacial significativa entre os valores dos objetos e seus vizinhos. Valores positivos para o índice indicam autocorrelação espacial positiva, ou seja, o valor do atributo de um objeto tende a ser semelhante aos valores dos seus vizinhos. Valores negativos para o índice indicam autocorrelação espacial negativa. O Índice Global de *Moran* é obtido através da expressão 3:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right) \sum_{i \neq j} w_{ij}} \quad (4.4)$$

onde: n é o número de áreas;
 y_i é o valor do atributo considerado na área i ;
 \bar{y} é o valor médio do atributo na região de estudo;
 w_{ij} são os elementos da matriz normalizada de proximidade espacial;
 ij valor da variável dos vizinhos da primeira ordem.

4.4.1 Diagrama de espalhamento de Moran

Para Serrano e Valcarce (2000), outro instrumento útil na análise do grau de dependência espacial de uma variável, e que fornece informação similar à obtida com o cálculo do Índice Global de Moran, é a observação do denominado *Scatterplot* de *Moran*

ou Diagrama de Espalhamento de *Moran*. Este tipo de gráfico representa no eixo das abscissas as observações da variável normalizada e no eixo das ordenadas a média espacial da variável, também normalizada.

Para Câmara *et al.* (2000a), o diagrama de espalhamento de *Moran* é uma maneira adicional de visualizar a dependência espacial. Construído com base nos valores normalizados (valores de atributos subtraídos de sua média e divididos pelo desvio padrão). Permite analisar o comportamento da variabilidade espacial. A idéia 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, conforme mostra a Figura 4.2:

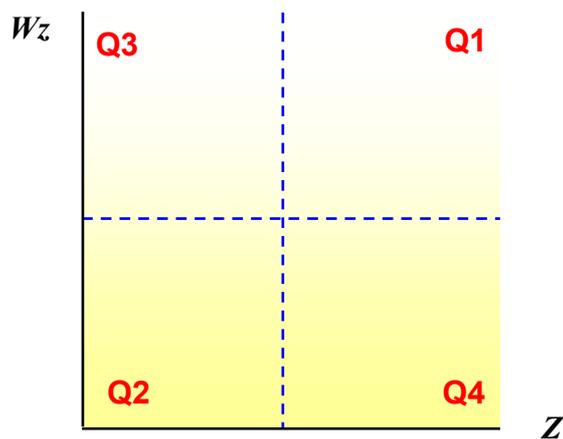


Figura 4.2 – Quadrantes do Diagrama de Espalhamento de Moran (Scatterplot)

Os pontos localizados nos quadrantes Q1 e Q2 indicam as zonas onde o valor medido do atributo se assemelha à média dos vizinhos (valor positivo e média positiva e valor negativo e média negativa, para Q1 e Q2, respectivamente), o que é um indicativo de autocorrelação espacial positiva. Pontos localizados nos quadrantes Q3 e Q4, indicam que o valor do atributo medido para determinada zona não se assemelha à média dos seus vizinhos (valor negativo e média positiva, e valor positivo e média negativa, para os quadrantes Q3 e Q4, respectivamente), o que indica autocorrelação espacial negativa. As regiões localizadas nestes últimos dois quadrantes podem ser vistas como extremos, uma vez que não obedecem ao padrão observado para seus vizinhos (KREMPI, 2004).

Deste modo, os quatro quadrantes reproduzem diferentes tipos de dependência espacial. Se a nuvem de pontos está dispersa nos quatro quadrantes, é indício de ausência de dependência espacial. Se, pelo contrário, os valores se encontram

concentrados sobre a diagonal que cruza os quadrantes Q1 e Q2, existe uma forte correlação positiva da variável, de forma que sua dependência é igual ao valor obtido pelo cálculo do Índice Global de *Moran*. A dependência espacial é negativa se os valores encontram-se concentrados sobre a diagonal que cruza os quadrantes Q3 e Q4 (SERRANO & VALCARCE, 2000).

4.4.2 Box Map

A partir dos gráficos de espalhamento de *Moran* pode-se construir o *Box Map*. Este tipo de mapa permite a visualização de cada elemento de acordo com sua classificação. Desta forma, é possível verificar visualmente a correlação entre o atributo medido para determinada zona e o mesmo atributo medido para seus vizinhos (KREMPI, 2004).

Uma das formas de identificar *outliers* espaciais, para dados de áreas, é através do *box map*, que tem sua origem nos mapas *quantis* que de forma direta se pode visualizar a distribuição de uma variável, já que cada cor do mapa corresponde a uma observação de um *quantil* dado da distribuição espacial. A construção de um mecanismo equivalente na forma de um *box map* é direta, já que consiste somente em destacar os *outliers* em um mapa *quartil* (quatro *quantis*). Desta forma, comparando-se *box maps* para diferentes variáveis se pode conseguir uma idéia inicial de associações multivariantes no sentido de que é provável que mapas *quartil* e *outliers* coincidentes correspondam a variáveis correlacionadas. Este tipo de análise pode constituir em ponto de partida na seleção das variáveis que devem ser incluídas em um modelo quando não existem fundamentos teóricos fortes que orientam na especificação do mesmo. Este mapa é uma extensão do Diagrama de Espalhamento de *Moran*, onde os elementos de cada quadrante do gráfico de espalhamento de *Moran* são representados por uma cor específica com seus respectivos polígonos (SERRANO & VALCARCE, 2000).

4.5 Indicadores locais de autocorrelação espacial

O Índice Local de *Moran* foi proposto por Anselin (1994) como uma ferramenta estatística para testar a autocorrelação local e para detectar objetos espaciais com influência no indicador Global de *Moran*. Enquanto o Índice Global de *Moran* informa o nível de interdependência espacial entre todos os polígonos em estudo, o Índice Local de

Moran avalia a covariância entre um determinado polígono e uma certa vizinhança definida em função de uma distância d .

Para Anselin (1994), em análises de associação espacial, assumir uma estabilidade estrutural ou estacionariedade pode ser difícil, especialmente quando um grande número de observações é adotado. O Índice Local de *Moran* pode ser utilizado como uma ferramenta estatística que possibilita uma indicação sobre a extensão da significância de *clusters* de iguais valores. Define o autor, ainda, o Índice Local de *Moran*, como sendo o produto do resíduo no polígono de referência com a média local dos resíduos de seus vizinhos adjacentes.

De acordo com Câmara *et al* (2000b), os indicadores globais de autocorrelação espacial, como o índice de *Moran*, fornecem um único valor como medida da associação espacial para todo o conjunto de dados, o que é útil na caracterização da região estudada. Quando o estudo envolve grande número de áreas, é muito provável que ocorram diferentes regimes de associação espacial e que apareçam máximos locais de autocorrelação espacial, onde a dependência espacial é ainda mais pronunciada. Assim, muitas vezes, é desejável examinar padrões com maiores detalhes. Para tanto, é preciso utilizar indicadores de associação espacial que possam ser associados às diferentes localizações de uma variável distribuída espacialmente.

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

- Permitir a identificação de padrões de associação espacial significativos;
- Ser uma decomposição do índice global de associação espacial.

O índice local de *Moran* pode ser expresso como:

$$I_i = z_i \sum w_{ij} z_j \quad (4.5)$$

Onde: W_{ij} = valor na matriz de vizinhança para a região i com a região j em função da distância d , e onde z_i e z_j são desvios em relação à média. Cabe destacar que, a partir do Índice Local de Associação Espacial, é possível conhecer a contribuição exata que representa cada região no valor do índice global (SERRANO & VALCARCE, 2000).

4.5.1 Lisa Map

Para análise dos Indicadores de Associação Espacial, o mapa denominado *Lisa Map* indica as regiões que apresentam correlação local significativamente diferente do resto dos dados. Estas áreas possuem dinâmica espacial própria e merecem análise detalhada. Na geração deste mapa, os índices locais de *Moran* são classificados da seguinte forma: não significantes (valor zero na legenda), com significância de 95% (valor um na legenda), com significância de 99% (valor dois na legenda) e 99,9% (valor três na legenda).

4.5.2 Moran Map

Outra visualização que também pode ser executada é o *Moran Map*. De forma semelhante ao *LISA Map*, somente os valores significantes de *LISA* são apresentados, porém classificados em quatro grupos, conforme os quadrantes a que pertencem no gráfico de espalhamento de Moran, além dos não significantes (que recebem valor zero na legenda).

4.6 Aplicações de Estatística Espacial

A estatística espacial é utilizada em diversos setores, como agricultura, segurança pública, transporte, trânsito, saúde, entre outros. Após uma revisão na literatura sobre o uso da estatística espacial, alguns trabalhos podem ser citados.

As ferramentas de estatística espacial, como os indicadores locais e globais de dependência espacial, são utilizadas para comparar a projeção de demanda por transportes (LOPES, 2005). Na área imobiliária, Trivelloni (2005) apresenta um método para a determinação do valor da localização dos imóveis usando técnicas de estatística espacial.

Santos (2005) utiliza sistemas de informações geográficas em associação a ferramentas de Estatística Espacial para identificar os pontos e áreas de maior ocorrência de acidentes, bem como as suas tendências espaciais de crescimentos para

dados de ocorrências de acidentes de trânsito, entre os anos de 2001 e 2003, na cidade de São Carlos/SP.

Krempi (2004) explora as ferramentas de estatística espacial, juntamente com ferramentas de SIG, com o propósito de analisar as relações entre aspectos da distribuição espacial de características da população de uma cidade média brasileira (Bauru/SP) e os diversos níveis de acessibilidade por diferentes modos de transporte nela observados. As ferramentas utilizadas são para análise espacial de áreas, sendo que as áreas utilizadas foram os 306 setores censitários da cidade.

Queiroz (2003) utiliza técnicas de estatística espacial em seu estudo sobre acidentes de trânsito da cidade de Fortaleza/CE, a fim de possibilitar uma caracterização mais eficaz do problema de segurança de tráfego na malha viária da cidade. Foram utilizadas ferramentas para análise espacial de padrões pontuais e áreas.

Campos *et al.* (2002) estimam áreas de risco para a ocorrência de carga parasitária produzida por *ascaris lumbricoides*, por meio da utilização de técnicas de geoprocessamento e análise geoestatística.

Ramos (2002) utiliza a estatística espacial por sua capacidade de inferir padrões locais e globais de distribuição espacial das variáveis georreferenciadas, em estudo que examinou a possibilidade de aplicação de técnicas matemático-computacionais para tratamento de dados espaciais como suporte a estudos urbanos. Os dados utilizados partiram das 389 zonas OD (pesquisa origem-destino de 1997) do município de São Paulo.

Em outro estudo, Andrade *et al.* (2001) utilizam a análise estatística espacial para compreender a distribuição espacial da mortalidade neonatal precoce (0-3 dias) no município do Rio de Janeiro, nos anos de 1995 e 1996.

Szwarcwald & Castilho (1998) caracterizam a evolução temporal da mortalidade por armas de fogo no estado do Rio de Janeiro, no período de 1979 a 1992, sendo que com as técnicas de análise e estatística espacial identificaram as áreas de maior risco e as direções preferenciais de dependência no espaço. Através deste estudo, também foi possível estabelecer os caminhos de propagação da violência no estado ao longo do tempo.

O estudo de Miller (2000) utiliza Sistemas de Informações Geográficas para analisar espacialmente o contexto dos acidentes, baseados em dados estatísticos, cuja finalidade foi melhorar o trânsito de veículos e pedestres com o intuito de aprimorar a segurança na circulação de ambos na Central Virginia – USA. Também, Queiroz *et al.*

(2004) realizaram a aplicação da ferramenta da análise espacial exploratória de padrões para caracterizar e diferenciar geograficamente as concentrações de acidentes de trânsito em Fortaleza, possibilitando a identificação de locais críticos na malha viária da cidade. A metodologia adotada foi aplicada sobre uma base de dados de acidentes georeferenciados em uma plataforma de Sistemas de Informações Geográficas.

O trabalho de Schneider, Kattak e Zeeger (2001) apresentou a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para analisar espacialmente os locais críticos de acidentes com atropelamentos na UNC (Universidade da Califórnia) – Campus – USA, baseados em dados estatísticos de atropelamentos (1994 a 1999), com a percepção do risco de acidentes, apontada através do mapa da área de estudos, pelos motoristas e pedestres. Concomitantemente, compararam os locais identificados como críticos para propor a melhoria nas medidas de segurança viária para travessia dos pedestres nas vias próximas ao Campus.

CAPÍTULO 5

INDICADORES

Neste capítulo são apresentadas as definições dos indicadores utilizados na verificação da possível relação entre a ocorrência da Taxa de Mortalidade por Atropelamento e aspectos populacionais, da urbanização, do desenvolvimento humano e do trânsito nos municípios paulistas.

O objetivo na utilização dos indicadores aqui descritos é que eles já são consagrados na literatura, e poderão ajudar a encontrar possíveis correlações espaciais entre a ocorrência de atropelamentos (dados agregados por municípios) com as condições socioeconômicas e culturais das populações dos municípios, dados também agregados. A literatura relacionada aos acidentes de trânsito demonstra que a ocorrência de acidentes de trânsito é função do estado de desenvolvimento dos povos. Dados da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2004) confirmam que a problemática dos acidentes é muito mais grave em locais menos desenvolvidos do que nos países industrializados. Uma analogia poderia ser também ser aplicada, por hipótese, aos municípios do Estado de São, que possuem diferentes graus de desenvolvimento.

Os indicadores utilizados nesta pesquisa estão divididos em cinco classes: i) indicador de atropelamento; ii) indicadores de aspectos populacionais; iii) indicadores de urbanização; iv) indicador de desenvolvimento humano e v) indicadores de trânsito.

5.1 Indicador de atropelamento

O indicador de atropelamento utilizado neste trabalho é a Taxa de Mortalidade por Atropelamento. Como definido por Raia Jr. (2004), o atropelamento é um acidente entre um veículo em movimento e um ou mais pedestres. O índice de

mortalidade é dado pelo número de mortes ocorridas por motivo de atropelamentos para cada 100 mil habitantes. É obtido dividindo-se o número de mortes por atropelamento pela população do local e multiplicando-se o resultado por 100 mil (Equação 5.1):

$$TMA = \frac{n}{p} \times 100000 \quad (5.1)$$

Onde: TMA é a taxa de mortalidade por atropelamento;
 n é o número de mortes por atropelamento;
 p é a população do local.

Os dados referentes aos óbitos por atropelamento, as estimativas e as projeções populacionais foram produzidos pela Fundação SEADE e pelo IBGE.

5.2 Indicadores de aspectos populacionais

Quanto aos aspectos populacionais, são levados em consideração neste estudo, a taxa geométrica de crescimento anual da população de cada município, a densidade demográfica do município e a idade média da população do município.

5.2.1 Taxa geométrica de crescimento anual da população

A taxa geométrica de crescimento anual da população, expressa em termos percentuais, o crescimento médio da população em um determinado período de tempo, geralmente referente aos anos dos censos demográficos. Considera-se que a população experimenta um crescimento exponencial, também denominado geométrico. Indica o ritmo de crescimento da população. A taxa geométrica de crescimento anual da população é dada por (SEADE, 2007):

$$i = \sqrt[n]{\frac{P_{(t+n)}}{P_{(t)}}} \quad (5.2)$$

Onde: i é a taxa geométrica de crescimento anual da população;
 p é a população do local;
 t é o tempo;
 n é o intervalo de tempo.

5.2.2 Densidade demográfica

A densidade demográfica corresponde ao número de habitantes residentes em uma unidade geográfica, em determinado momento, em relação à área dessa mesma unidade. É um índice utilizado para verificar a intensidade de ocupação de um território. Os dados são extraídos dos censos do IBGE e de informações do IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico). Foram obtidos através do endereço eletrônico da Fundação SEADE <<http://www.seade.gov.br/ produtos/imp>>. A densidade demográfica é calculada segundo a Equação 5.3 (SEADE, 2007):

$$d = \frac{p}{a} \quad (5.3)$$

Onde: d é o índice de densidade demográfica;
 p é a população do local;
 a área do local.

5.2.3 Idade média da população

A idade média da população de cada município foi calculada multiplicando-se a quantidade de pessoas pertencentes a cada faixa pelo intervalo médio da idade e, dividindo o resultado obtido pela população da área geográfica em questão. As populações aqui consideradas resultam de um modelo de projeção demográfico, baseado nos resultados do Censo Demográfico (IBGE, 2000) e nos indicadores de crescimento calculados a partir das estatísticas vitais processadas na Fundação SEADE. Estas estimativas referem-se ao primeiro dia do mês de julho de cada ano (SEADE, 2007).

5.3 Indicadores de urbanização

Referentes aos aspectos de urbanização, são considerados, nesta pesquisa, o grau de urbanização e os níveis de centralidade dos municípios paulistas.

5.3.1 Grau de urbanização

O grau de urbanização compreende o percentual da população residente em áreas urbanas em relação à população total, em determinado espaço geográfico. É calculado a partir de dados censitários, segundo a Equação 5.4:

$$u = \frac{pu}{p} \times 100 \quad (5.4)$$

Onde: u é o índice referente ao grau de urbanização;
 pu é a população urbana do local;
 p é a população do local.

Os dados de população são obtidos a partir dos dados censitários do IBGE e disponibilizados pela fundação SEADE, pelo endereço eletrônico <<http://www.seade.gov.br/produtos/imp>> (SEADE, 2007).

5.3.2 Nível de centralidade

As cidades são classificadas, de acordo com a pesquisa Região de Influência das Cidades de 1993 (REGIC-93), segundo seus níveis de centralidade, através da mensuração de suas ligações pelas compras e vendas intermunicipais. A pesquisa REGIC-93 tem por objetivo estimar os fluxos de bens e serviços existentes no território brasileiro, segundo os preceitos teóricos dos lugares centrais e suas áreas de influência (LEMOS, 2004).

Os níveis de centralidade e posição hierárquica dos centros foram obtidos, com base na matriz de interações espaciais, pela composição dos aspectos que denotam a intensidade dos fluxos (da demanda), a extensão espacial da área de influência e a disponibilidade de equipamentos funcionais. A intensidade das interações intermunicipais foi medida pelo número agregado de itens usualmente comprados em uma localidade municipal por pessoas procedentes de outras localidades. O procedimento para a definição da área de influência foi definido pelos municípios cujas pessoas procuram usualmente o centro urbano de referência para o atendimento de suas necessidades de consumo de 44 bens. A disponibilidade de equipamentos funcionais (indicador do nível de diversificação urbana) foi medida pela capacidade de oferta dos 44

bens e serviços de cada município. A partir daí definiu-se oito níveis de centralidade das cidades brasileiras, conforme descrito no Quadro 5.1 (LEMOS, 2004).

Quadro 5.1 – Níveis de centralidade das Cidades Brasileiras

NÍVEL	DESCRIÇÃO	PADRÃO DA CIDADE
8	Máximo	Metropolitano
7	Muito Forte	Predominantemente Metropolitano
6	Forte	Predominantemente de Capital Sub-Regional
5	Forte para Médio	Predominantemente de Centro Sub-Regional
4	Médio	Tendendo a Centro Sub-Regional
3	Médio para Fraco	Predominantemente de Centro de Zona
2	Fraco	Tendendo a Zona
1	Muito Fraco	Municípios Subordinados

Fonte: LEMOS (2004)

5.4 Indicador de desenvolvimento humano

O conceito de desenvolvimento humano é a base do Relatório de Desenvolvimento Humano – RDH, publicado anualmente, e também do Índice de Desenvolvimento Humano – IDH. Ele parte do pressuposto de que para aferir o avanço de uma população não se deve considerar apenas a dimensão econômica, mas também outras características sociais, culturais e políticas que influenciam a qualidade de vida humana (PNUD, 2002).

O IDH-Municipal focaliza o município como unidade de análise, a partir das dimensões de longevidade, educação e renda, que participam com pesos iguais na sua determinação, de acordo com a Equação 5.5:

$$IDHM = \frac{l + e + r}{3} \quad (5.5)$$

Onde: *IDHM* é o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal;

l é o índice de longevidade;

e é o índice de educação;

r é o índice de renda.

Em relação à longevidade, o índice utiliza a esperança de vida ao nascer (número médio de anos que as pessoas viveriam a partir do nascimento). No aspecto educação, considera o número médio dos anos de estudo (razão entre o número médio de anos de estudo da população de 25 anos e mais, sobre o total das pessoas de 25 anos e mais) e a taxa de analfabetismo (percentual das pessoas com 15 anos e mais, incapazes de ler ou escrever um bilhete simples). Em relação à renda, considera a renda familiar *per capita* (razão entre a soma da renda pessoal de todos os familiares e o número de indivíduos da unidade familiar). Todos os indicadores são obtidos a partir do Censo Demográfico do IBGE (PNUD, 2002).

O IDH-Municipal se situa entre zero e um, sendo que valores mais altos indicam níveis superiores de desenvolvimento humano. Para referência, os valores se distribuem em três categorias (PNUD, 2002):

- Baixo desenvolvimento humano, quando o IDH-M for menor que 0,50;
- Médio desenvolvimento humano, para valores entre 0,50 e 0,80 e;
- Alto desenvolvimento humano, quando o índice for superior a 0,80.

5.5 Indicadores de trânsito

Em relação ao trânsito dos municípios paulistas, foram utilizados o Índice de Motorização e a condição do trânsito, em relação a sua “municipalização”.

5.5.1 Índice de Motorização

O índice de motorização indica o número de veículos para cada 100 habitantes. É obtido dividindo-se a frota de veículos da área geográfica estudada pela sua população e multiplicando o resultado por 100 (Equação 5.6):

$$IM = \frac{f}{p} \times 100 \quad (5.6)$$

Onde: IM é o Índice de Motorização;
 f é o número da frota do local;
 p é população do local.

Os dados utilizados no cálculo do Índice de Motorização têm como fontes o DENATRAN-Departamento Nacional de Trânsito para o número de veículos e o IBGE para os dados censitários. Os dados da frota estão disponibilizados no endereço eletrônico do DENATRAN <<http://www.denatran.gov.br>> (DENATRAN, 2007).

5.5.2 Trânsito municipalizado

O CTB-Código de Trânsito Brasileiro, implantado em 1998 (Lei Federal 9503/97), introduziu o conceito de municipalização do trânsito. As competências existentes no código anterior entre o estado e o município foram redistribuídas, dando mais responsabilidade a cada órgão do Sistema Nacional de Trânsito (SNT). A municipalização do trânsito é o processo legal, administrativo e técnico, por meio do qual o município assume integralmente a responsabilidade pelos seguintes serviços:

- Engenharia;
- Fiscalização;
- Educação de trânsito;
- Levantamento, análise e controle de dados estatísticos e;
- Criação das Juntas Administrativas de Recursos de Infrações (JARIS), que constitui a primeira instância de recurso administrativo prevista pelo CTB.

A municipalização do trânsito tem por finalidade garantir ao município as condições de atender, de forma direta, as necessidades da população, estando, sob sua jurisdição, a implantação de uma política de trânsito capaz de atender às demandas de segurança e fluidez (DENATRAN, 2000).

As informações sobre os municípios que já sofreram municipalização do trânsito foram obtidas pelo endereço eletrônico do DENATRAN, <<http://www.denatran.gov.br>> (DENATRAN, 2007). Para utilização no banco de dados, foi atribuído o valor 1 para áreas de trânsito municipalizado e valor 0 para as áreas em que a municipalização ainda não ocorreu.

CAPÍTULO 6

METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentadas as etapas adotadas na metodologia: obtenção de dados relacionados à taxa de mortalidade, obtenção dos indicadores utilizados para a comparação com a taxa de mortalidade por atropelamento, obtenção da base de dados georreferenciada, a aplicação das técnicas de estatística espacial e os métodos para a obtenção dos resultados.

A metodologia utilizada na elaboração desta pesquisa foi desenvolvida, levando em consideração os objetivos específicos, que são: i) estudar a autocorrelação espacial da Taxas de Mortalidade por Atropelamento (TMA) nos municípios do estado de São Paulo, verificando a existência de padrões de associação espacial e; ii) verificar a possível correlação entre a ocorrência de mortalidade por atropelamento e aspectos da população, da urbanização, do desenvolvimento humano e do trânsito nas áreas envolvidas, considerando seus níveis de agregação.

Estabelecidos os objetivos específicos, faz-se necessária a compreensão dos elementos envolvidos na elaboração da pesquisa, que envolve os 645 municípios do Estado de São Paulo. A partir destas áreas (municípios), será estudado o fenômeno Mortalidade por Atropelamento. Para a realização das análises envolvendo estatística espacial, foi utilizado o *software* SPRING.

As fases deste trabalho podem ser vistas na Figura 6.1, que apresenta a estrutura da metodologia.



Figura 6.1 – Estrutura da metodologia

6.1 Preparação da base de dados

Entende-se por base de dados o conjunto de dados gráficos e alfanuméricos. Os dados gráficos são todos os elementos que constituem uma base cartográfica. Os dados não gráficos são atributos alfanuméricos referentes às áreas da base cartográfica.

6.1.1 Obtenção da base de dados georreferenciada

Para a realização deste trabalho foi necessário a utilização de uma base cartográfica georreferenciada do Estado de São Paulo, contendo os limites dos

municípios. Esta base cartográfica foi adquirida no endereço eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) e retrata a Divisão Político-Administrativa do Estado, através da representação vetorial das linhas definidoras das divisas dos municípios.

6.1.2 Obtenção dos dados não gráficos

Os dados não gráficos são as informações que se referem aos índices de:

- Atropelamento: taxa de mortalidade por atropelamento;
- Aspecto populacional de cada município: crescimento geométrico anual da população, densidade demográfica e idade média da população;
- Urbanização: nível de centralidade e grau de urbanização;
- Desenvolvimento humano: índice de desenvolvimento humano municipal e;
- Trânsito: índice de motorização, e trânsito municipalizado.

Estas informações têm fontes distintas que estão descritas no capítulo anterior. Todos os dados adquiridos foram padronizados, codificados (conforme códigos de municípios adotado pelo IBGE) e agrupados em um banco de dados com formato compatível com o SPRING.

Após a padronização, codificação e criação do banco de dados não gráficos, este foi anexado ao banco já existente na base cartográfica digital, para realização das análises propostas.

6.2 Aplicação das ferramentas de estatística espacial

Após as etapas preparativas, obtenção da base cartográfica e obtenção dos dados não gráficos, foram aplicadas as etapas da análise e estatística espacial, citadas a seguir e descritas no capítulo 4 deste trabalho. As ferramentas de estatística espacial foram aplicadas tanto para as taxas de mortalidade por atropelamento quanto para os demais indicadores.

6.2.1 Estatística espacial dos índices de atropelamento

Nesta etapa do trabalho foram analisadas as taxas de mortalidade por atropelamento (TMA) do período entre 1996 e 2005. Com a finalidade de estabelecer um padrão de associação espacial do período citado e verificar a autocorrelação espacial das TMAs, as seguintes técnicas foram aplicadas:

- Cálculo da Média Espacial Móvel, para identificação da tendência da variação espacial de cada variável, com aplicação do gráfico de barras;
- Cálculo do Índice Global de *Moran*, com utilização do Diagrama de Espalhamento de *Moran* e do *Box Map*, com o intuito de visualizar a dependência espacial entre as áreas e;
- Cálculo do Índice Local de *Moran*, com auxílio das ferramentas *Lisa Map* e *Moran Map*, para identificação de regiões que apresentam correlação local diferente do restante dos dados.

6.2.2 Estatística espacial dos indicadores

Ainda na etapa de aplicação das ferramentas de estatística espacial, foram analisados todos os indicadores citados, definindo suas áreas de autocorrelação espacial positiva para, enfim, compará-los com a TMA. Na mesma seqüência, foram realizados: i) cálculo da Média Espacial Móvel, para identificação da tendência da variação espacial de cada indicador, com aplicação do gráfico de barras; ii) cálculo do Índice Global de *Moran*, com utilização do Diagrama de Espalhamento de *Moran* e do *Box Map*, com o intuito de visualizar a dependência espacial entre as áreas e; iii) cálculo do Índice Local de *Moran*, com auxílio das ferramentas *Lisa Map* e *Moran Map*, para identificação de regiões que apresentam correlação local diferente do restante dos dados.

6.3 Sobreposição de *clusters*

Após a realização das duas etapas das análises que envolveram estatística espacial ficou, em primeiro lugar, estabelecido o padrão de associação espacial das variáveis relativas às Taxas de Mortalidade por Atropelamento e, em segundo lugar, foram identificadas as áreas de associação espacial positiva para todos os indicadores estudados e citados anteriormente.

Com estes resultados em mãos, esta etapa do trabalho teve por finalidade verificar a correlação entre a ocorrência de mortalidade por atropelamento e aspectos da população, da urbanização, do desenvolvimento humano e do trânsito nas áreas envolvidas. Para tanto, foi feita a interpolação das áreas com autocorrelação positiva (*clusters*) da TMA com as áreas de autocorrelação positiva dos demais indicadores. Esta operação foi importante para identificar, além da correlação entre as variáveis, o comportamento das regiões que apresentam dependência espacial no que se refere à mortalidade por atropelamento.

O capítulo seguinte apresenta o desenvolvimento das etapas metodológicas, bem como a aplicação das técnicas de análise e estatística espacial.

CAPÍTULO 7

APLICAÇÃO DAS ETAPAS METODOLÓGICAS

Neste capítulo poderá ser observada a aplicação das etapas citadas na metodologia, incluindo as técnicas de análise e estatística espacial, anteriormente descritas, para os 645 municípios do Estado de São Paulo, referentes à variável principal do estudo – a TMA e às demais variáveis escolhidas, a fim de estabelecer correlações espaciais entre as mesmas.

7.1 Caracterização da área de estudo

São Paulo é uma das 27 unidades federativas do Brasil. Está localizado no sul da região Sudeste e tem como limites os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná, Mato Grosso do Sul e a leste o oceano Atlântico. É dividido em 645 municípios e ocupa uma área de 248.209,426 km² (IBGE, 2000).

Com mais de 40 milhões de habitantes, São Paulo é o estado brasileiro mais populoso e a terceira unidade administrativa mais populosa da América do Sul. É responsável por mais de 31% do PIB do país e figura entre os estados com alto Índice de Desenvolvimento Humano (IBGE, 2000).

O estado de São Paulo possui a mais ampla e complexa rede urbana do país, apresentando inter-relacionamentos com os estados vizinhos e causando impacto em todo o território nacional. Estruturada a partir da capital, sua constituição remonta ao século passado, quando, após o dinamismo econômico impulsionado pelo complexo cafeeiro, a região passou por processo contínuo e permanente de ocupação (IPEA, 2001).

A principal característica da rede urbana do estado, nas últimas décadas, é o crescimento de cidades médias no interior, concentrando parcela crescente da população,

muitas delas articuladas em regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas. Esse processo, engendrado com a interiorização do desenvolvimento, expressa-se em uma dinâmica sócio-espacial que se repete nas diversas realidades territoriais como ambientes construídos pelo capital e para o capital (IPEA, 2001).



Figura 7.1 – Localização do Estado de São Paulo (Fonte: IBGE, 2007)

7.2 Preparação da base de dados

Esta etapa do trabalho consistiu na aquisição e preparação da base de dados que, em resumo, é formada pelo conjunto de dados gráficos e alfanuméricos. Os dados gráficos são todos os elementos que constituem uma base cartográfica. Os dados não gráficos são atributos alfanuméricos referentes às áreas da base cartográfica.

7.2.1 Aquisição da base de dados gráficos

Para este trabalho, foi utilizado um mapa do estado de São Paulo georreferenciado – banco de dados gráficos, apresentando os limites dos municípios. Esta base cartográfica foi elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE),

retratando a Divisão Político-Administrativa do Estado, através da representação vetorial das linhas definidoras das divisas dos municípios.

A elaboração da base cartográfica utilizou como fonte de referência o Arquivo Gráfico Municipal (AGM), constituído por folhas topográficas, nas quais representou-se os limites definidos nas leis estaduais e municipais. Utilizou-se como referência cartográfica o sistema de coordenadas geográficas: latitude e longitude e como referência geodésica o esferóide *South American 1969 – SAD 69* (IBGE, 1997). A base de dados georreferenciada contém os seguintes atributos: nome do município, código, área, perímetro, estado, população, densidade populacional, latitude e longitude.

Para a realização das análises espaciais foi utilizado o software Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), que é um banco de dados geográfico de segunda geração, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para ambientes UNIX e Windows, com características como operar como um banco de dados geográfico que suporta grande volume de dados; administrar tanto dados vetoriais como dados matriciais e; realizar integração de dados de sensoriamento remoto;

Para alcançar estes objetivos, o SPRING é baseado num modelo de dados orientado a objetos, do qual são derivadas sua interface de menus e a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL). Algoritmos inovadores, como os utilizados para indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações (INPE, 2006). A Figura 7.2 mostra de forma resumida a configuração de uma base de dados no *software* SPRING.

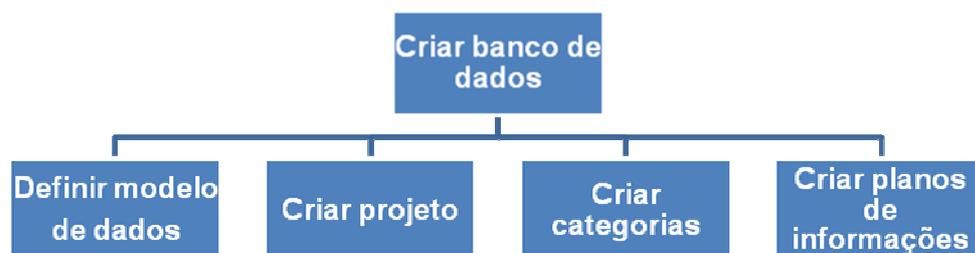


Figura 7.2 – Configuração da Base de Dados no SPRING (Fonte: INPE, 2006)

Os dados da base cartográfica do Estado de São Paulo estão modelados conforme mostra o Quadro 7.1.

Quadro 7.1 – Modelagem de dados da base cartográfica do Estado de São Paulo

CATEGORIA	MODELO	PI
BRs	cadastral	
Divisao_Estadual	cadastral	Malha_estadual
Divisão_Municipal	cadastral	Malha_estadual
Divisão_Estadual_Tematica	temático	
Divisão_Municipal_Tematica	temático	
DTM	MNT	
Estradas	temático	Vias
FocosDeQueimada	cadastral	
Grade	cadastral	
Hidrografia	temático	Rios
ImagensTM	imagem	MosaicoTM_543
Risco	temático	
Solos	temático	
Vegetação	temático	Vegetação_Radam
Imagem	Imagem	
Spaulo	não-espacial	
Cartas	objeto	
Cel	objeto	
Células	objeto	
Cenas	objeto	
Estados	objeto	
Focos	objeto	
Municípios	objeto	
Rodovias	objeto	
Amst_0	objeto	

Fonte: INPE (2006)

7.2.2 Aquisição da base de dados não gráficos

As Taxas de Mortalidade por Atropelamento (TMA) por 100 mil habitantes para os 645 municípios do estado de São Paulo foram adquiridas da Fundação Sistema

Estadual de Análise de Dados (SEADE). As taxas são para o período de 10 anos – de 1996 a 2005 e estão disponibilizadas no endereço eletrônico www.seade.gov.br.

Os demais indicadores escolhidos para o estudo de correlação com a variável TMA, descritos e citados no capítulo 05, foram obtidos de fontes como: i) SEADE (taxa geométrica de crescimento anual da população, densidade demográfica, idade média da população e grau de urbanização); ii) IBGE (nível de centralidade); iii) PNUD (índice de desenvolvimento humano municipal) e; iv) DENATRAN (índice de motorização e trânsito municipalizado).

7.3 Aplicação das técnicas de estatística espacial

As técnicas descritas no capítulo 4 foram aplicadas ao conjunto de dados para extrair informações relativas à TMA e possíveis correlações com as demais variáveis. Com todas as variáveis definidas, foi calculado o Indicador Global de Associação Espacial (Índice Global de *Moran*) para cada uma das variáveis, através das ferramentas de estatística espacial do *software* SPRING, versão 4.3.2. Este cálculo foi executado com a opção de 999 permutações, sendo que ao final desta operação foram adicionadas 7 novas colunas na tabela de municípios, para cada variável calculada, contendo as seguintes informações:

- Z – desvio do atributo em relação à média
- WZ – vetor de médias ponderadas
- IMORAN – índice local de *Moran*
- MEDIAMOV – média espacial móvel
- BOXMAP – *Box Map*
- LISAMAP – *Lisa Map*
- MORANMAP – *Moran Map*

7.4 Estatística espacial das taxas de mortalidade por atropelamento

Como primeira parte das análises deste trabalho, foram estudadas as Taxas de Mortalidade por Atropelamento para o período de 10 anos, ou seja, de 1996 a 2005,

conforme dados adquiridos da Fundação SEADE. A codificação das variáveis estudadas nesta etapa da pesquisa pode ser vista no Quadro 7.2.

Quadro 7.2 – Codificação das variáveis TMA para o período de 1996 a 2005

Taxa de Mortalidade por Atropelamento – TMA										
Ano	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Código	TMA_96	TMA_97	TMA_98	TMA_99	TMA_00	TMA_01	TMA_02	TMA_03	TMA_04	TMA_05

7.4.1 Cálculo da Média Espacial Móvel

A primeira etapa para a verificação da existência de autocorrelação espacial foi a realização do cálculo da média espacial móvel, que constitui em uma forma simples de explorar a variação da tendência espacial dos dados através do cálculo da média dos valores dos vizinhos. Isto reduz a variabilidade espacial, pois a operação tende a produzir uma superfície com menor flutuação que os dados originais. As Figuras 7.3 a 7.12 trazem os mapas com a distribuição das médias espaciais móveis em suas respectivas áreas.

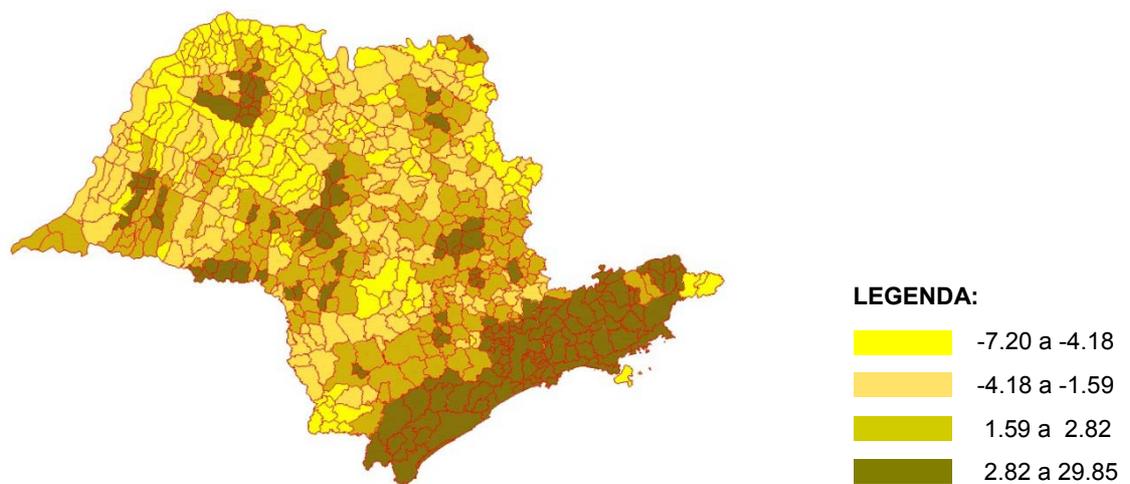


Figura 7.3 – Média espacial móvel para a variável TMA_96

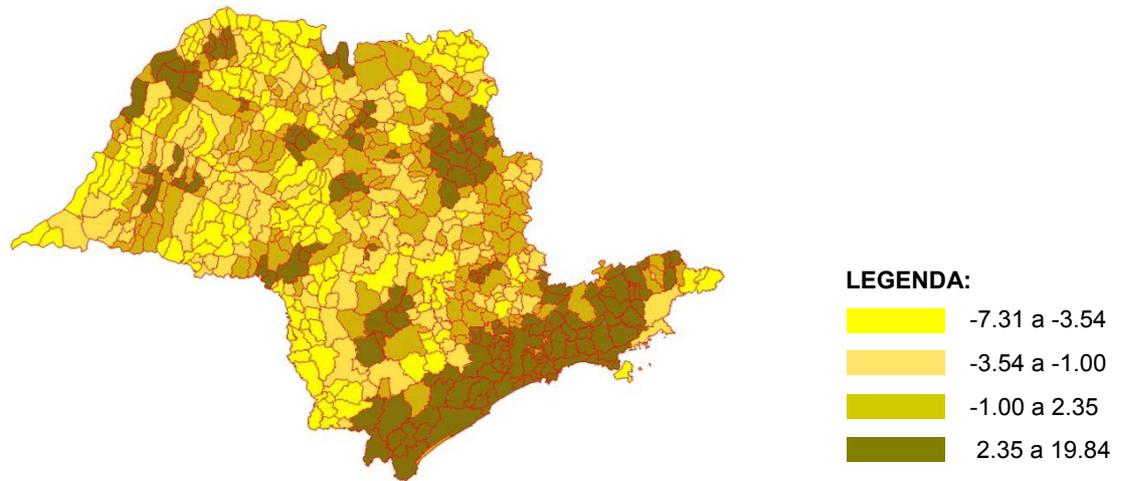


Figura 7.4 – Média espacial móvel para a variável TMA_97

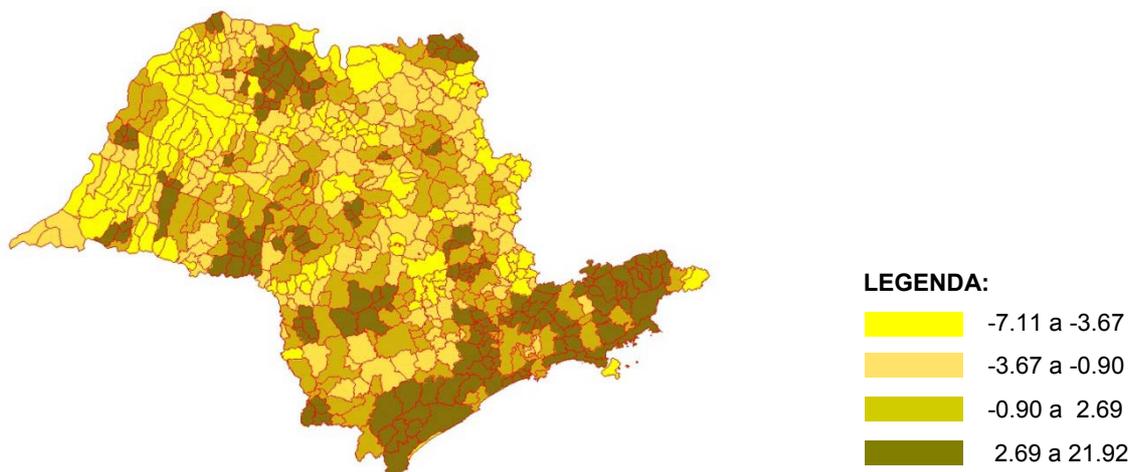


Figura 7.5 – Média espacial móvel para a variável TMA_98

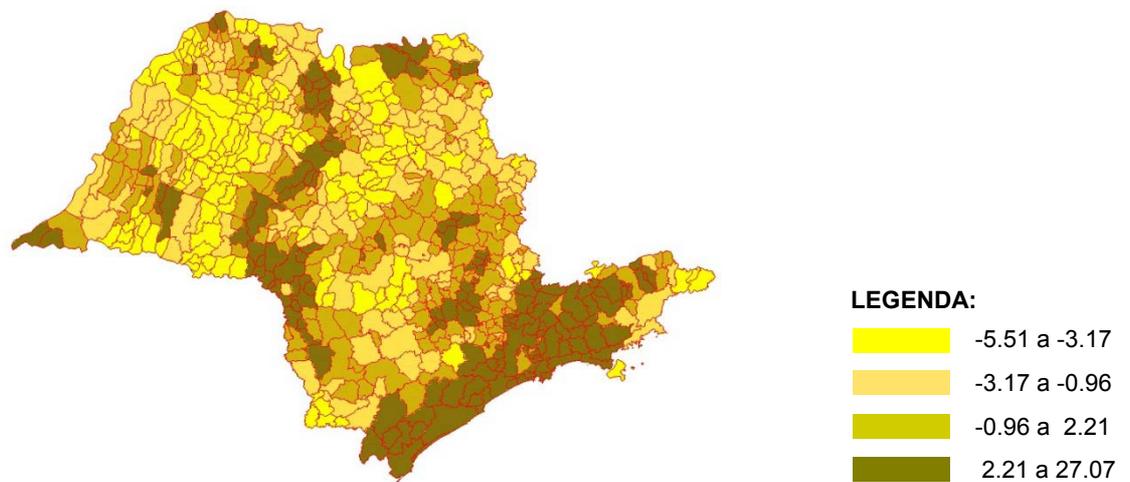


Figura 7.6 – Média espacial móvel para a variável TMA_99

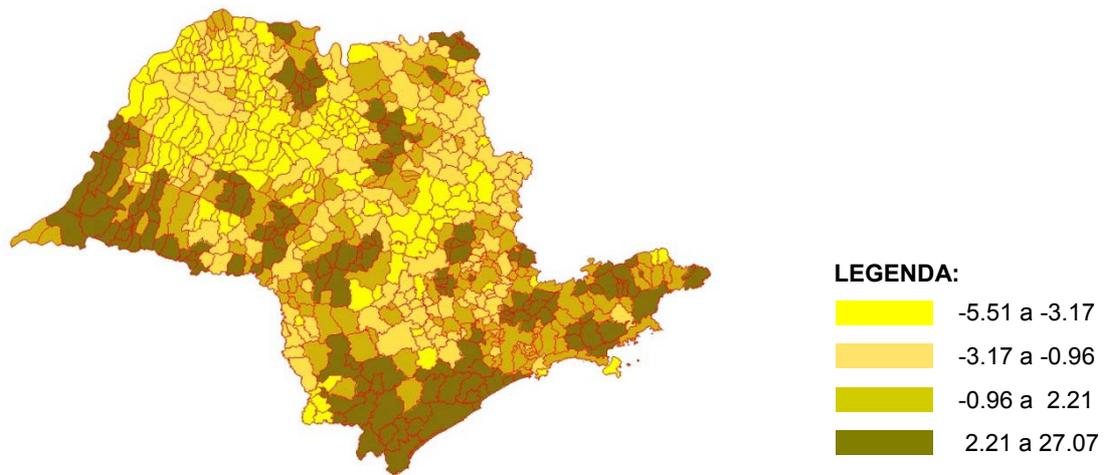


Figura 7.7 – Média espacial móvel para a variável TMA_00

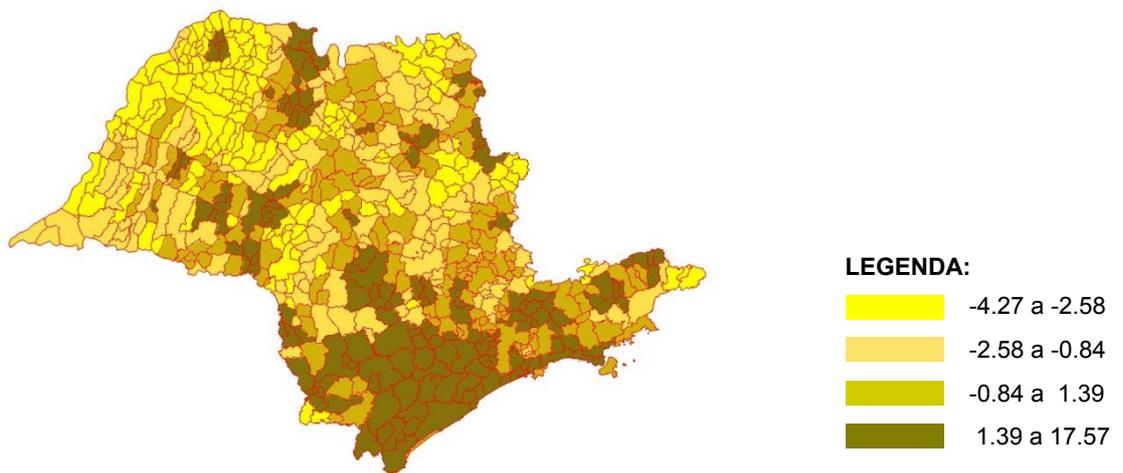


Figura 7.8 – Média espacial móvel para a variável TMA_01

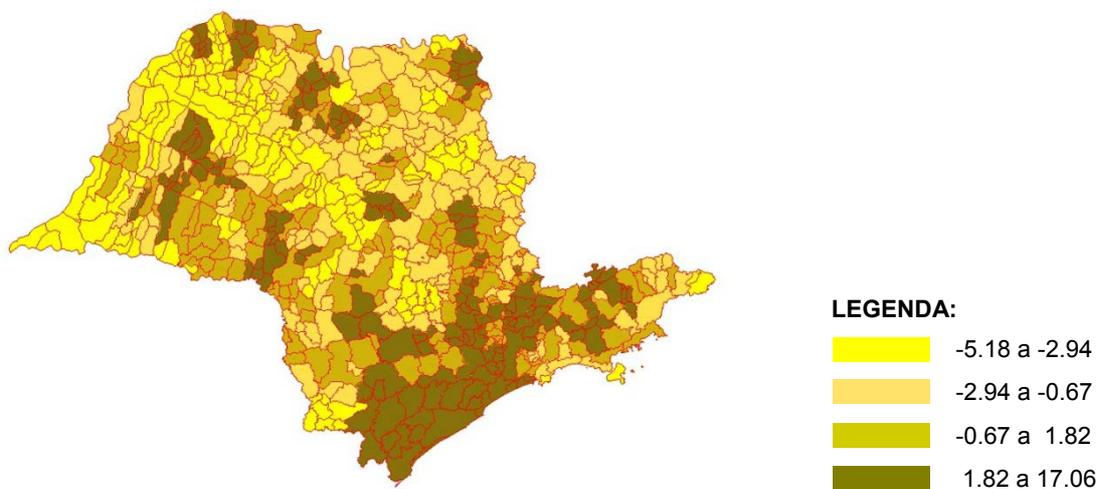


Figura 7.9 – Média espacial móvel para a variável TMA_02

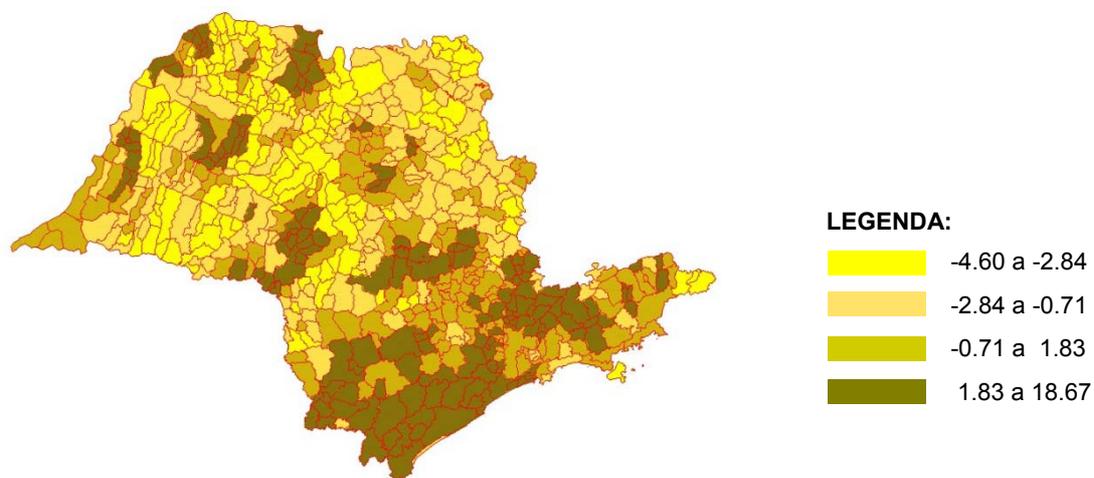


Figura 7.10 – Média espacial móvel para a variável TMA_03

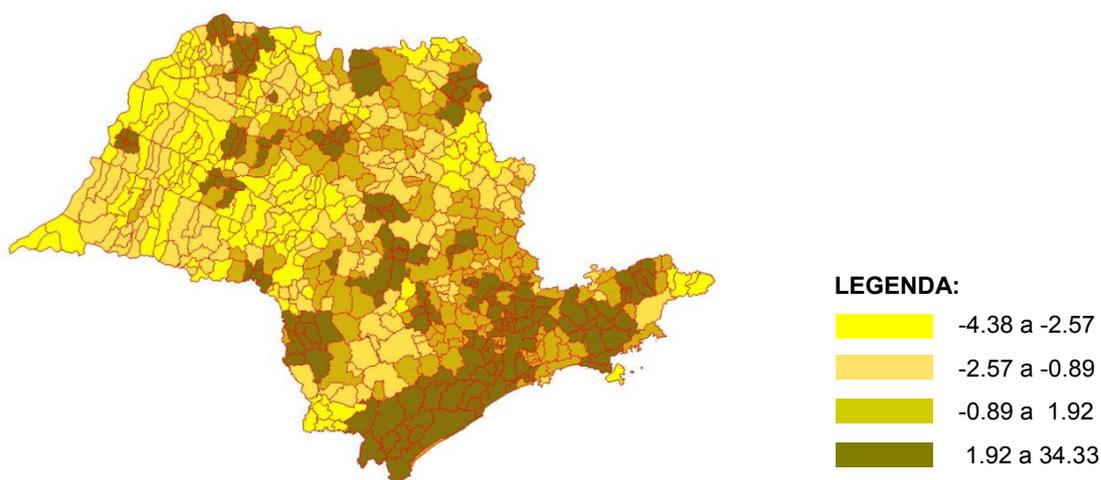


Figura 7.11 – Média espacial móvel para a variável TMA_04

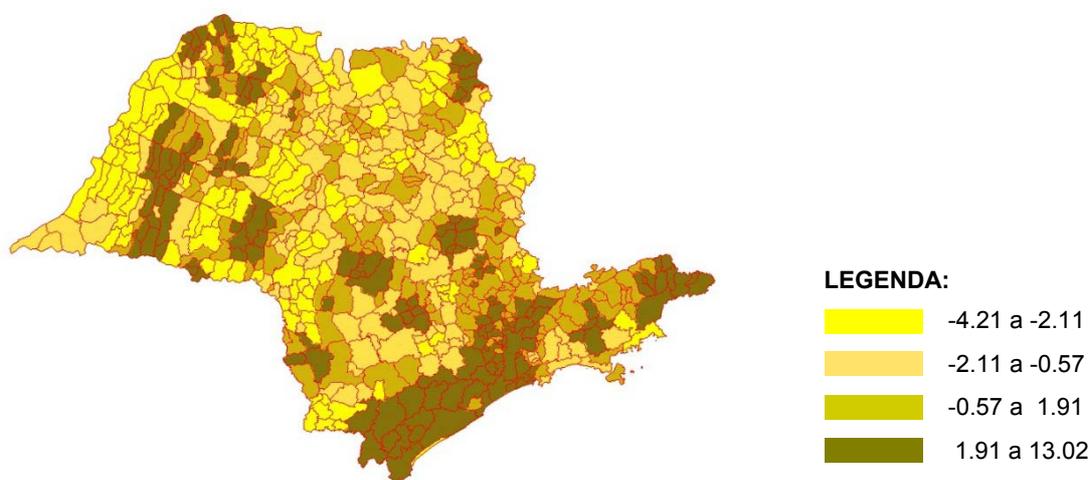


Figura 7.12 – Média espacial móvel para a variável TMA_05

As figuras 7.3 a 7.12 mostraram a tendência da distribuição espacial das Taxas de Mortalidade por Atropelamento dos anos de 1996 a 2005, através dos mapas com a representação das médias espaciais móveis de cada variável, com a finalidade de visualizar a evolução temporal das mortes por atropelamento. Observa-se que, em todos os anos analisados, as maiores ocorrências de mortes por atropelamento estão concentradas nas Regiões Administrativas (RA) de Registro e de São José dos Campos e nas Regiões Metropolitanas de São Paulo (RMSP) e da Baixada Santista (RMBS). No decorrer dos 10 anos há uma diminuição de ocorrências de mortes por atropelamento nas regiões citadas e ligeiro aumento destas ocorrências em regiões do interior do estado. Na seqüência das análises, será realizado o cálculo do índice global de *Moran*.

7.4.2 Cálculo do Índice Global de Moran

A etapa seguinte para a verificação da existência de autocorrelação espacial foi a realização do cálculo do Índice Global de *Moran* para as Taxas de Mortalidade por Atropelamento, sendo que os resultados podem ser vistos na Quadro 7.3:

Quadro 7.3 – Índice Global de *Moran* para a variável TMA no período de 1996 a 2005

Taxa de Mortalidade por Atropelamento – TMA										
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Índice Global de <i>Moran</i>	0,15	0,08	0,05	0,11	0,11	0,07	0,02	0,03	0,05	0,02

Lembrando que o Índice Global de *Moran* varia de -1 a $+1$, com valores próximos de zero, indicando a ausência de autocorrelação espacial, a partir dos valores apresentados no Quadro 7.3, é possível observar que os índices globais de *Moran* das TMAs pertencentes aos períodos compreendidos entre 1996 e 2005, apesar de positivos, encontram-se próximos de zero. Portanto, apresentam autocorrelação espacial muito baixa e em alguns casos, praticamente nula.

7.4.2.1 Diagrama de Espalhamento de Moran

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos no cálculo do Índice Global de Moran, foi utilizado o diagrama de espalhamento de Moran, gráfico que representa no eixo das abscissas, as observações da variável normalizada e, no eixo das coordenadas, a média espacial da variável.

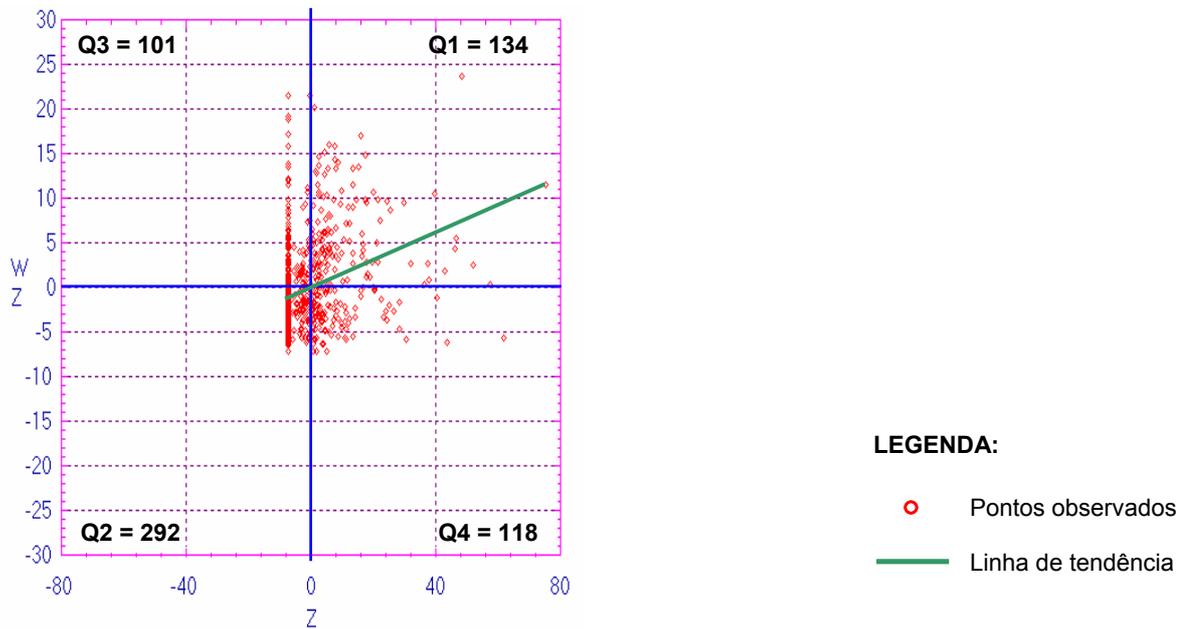


Figura 7.13 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável TMA_96

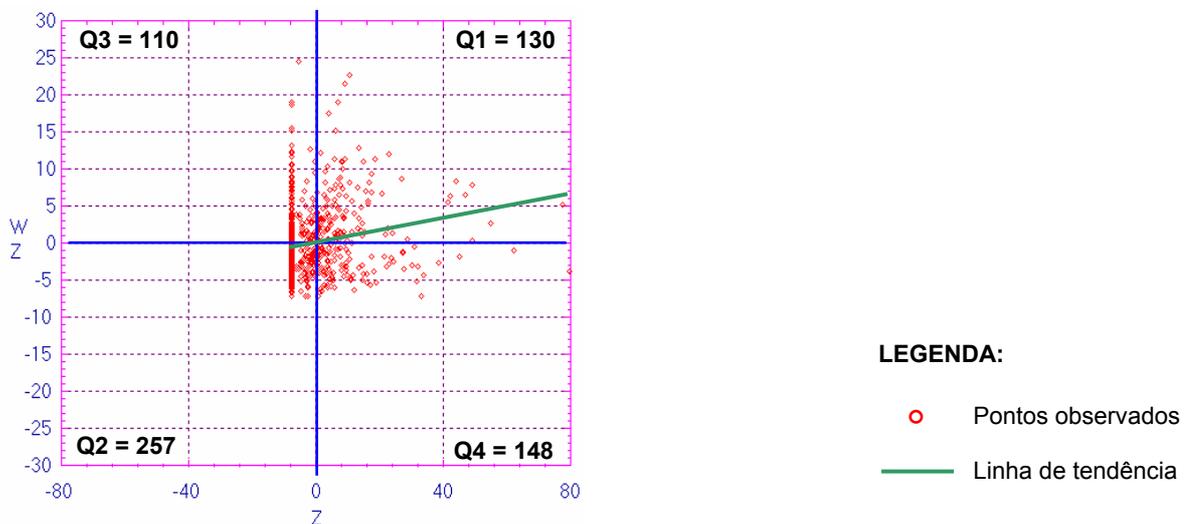


Figura 7.14 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável TMA_97

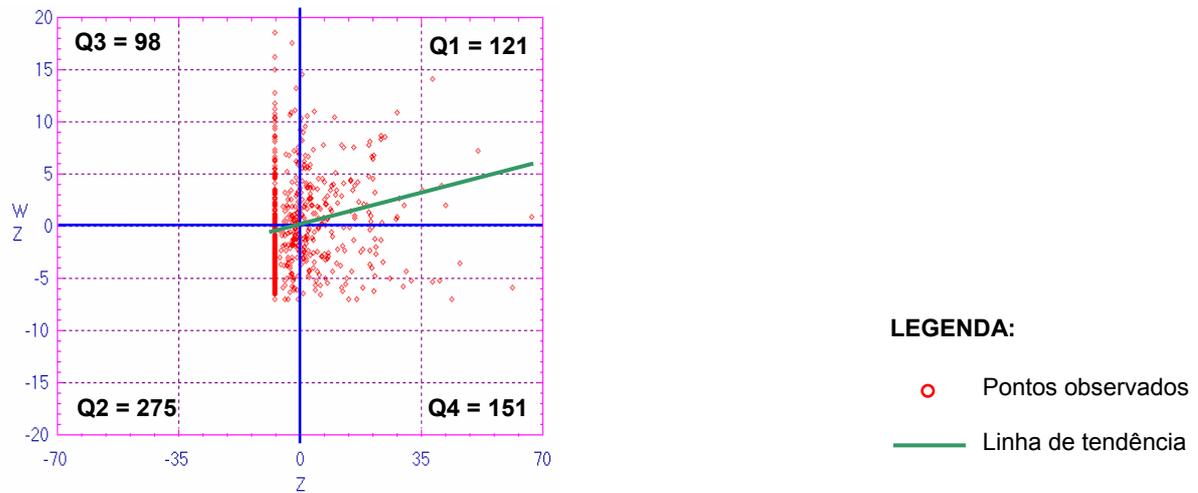


Figura 7.15 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável TMA_98

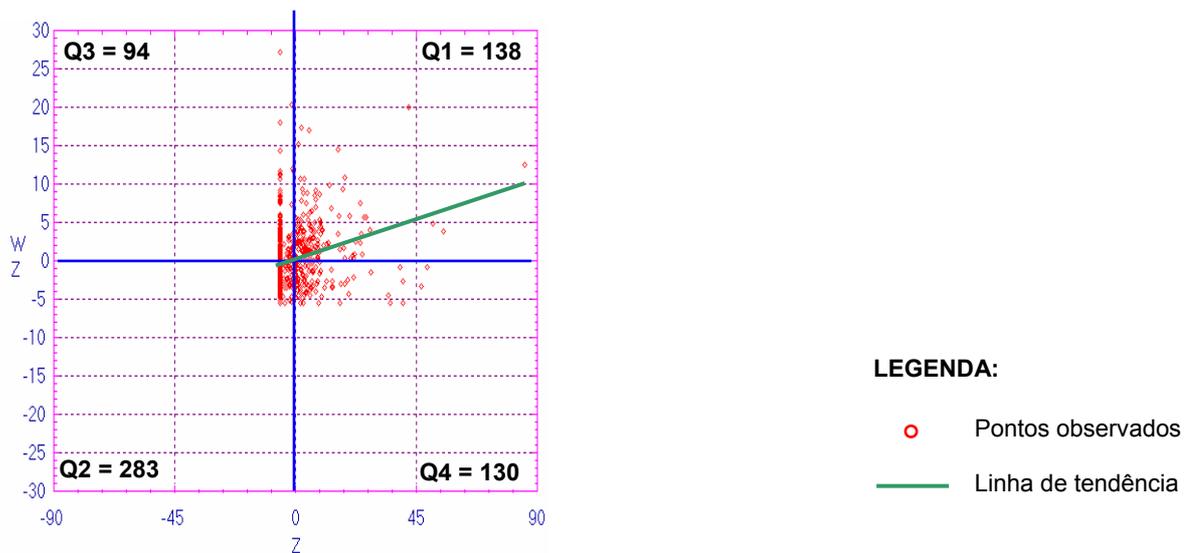


Figura 7.16 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável TMA_99

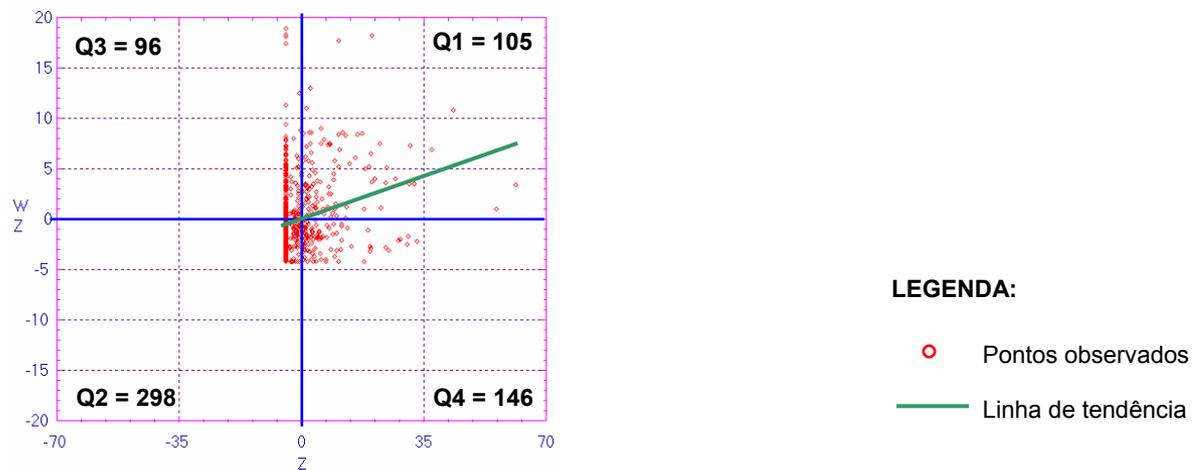
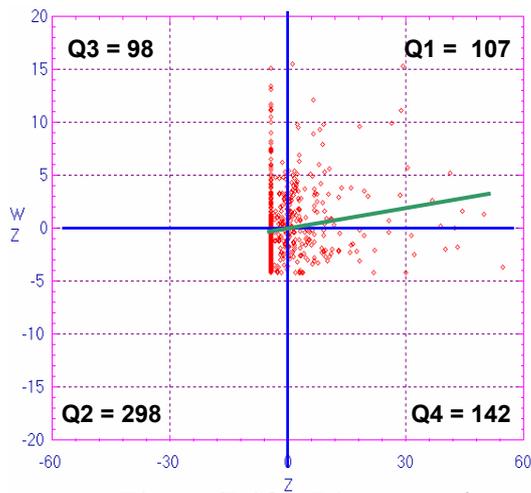


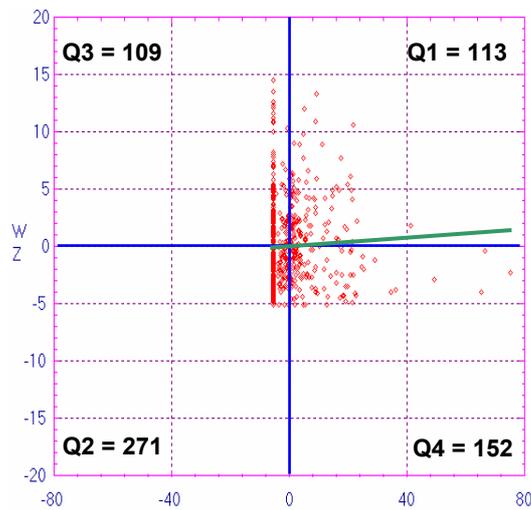
Figura 7.17 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável TMA_00



LEGENDA:

- Pontos observados
- Linha de tendência

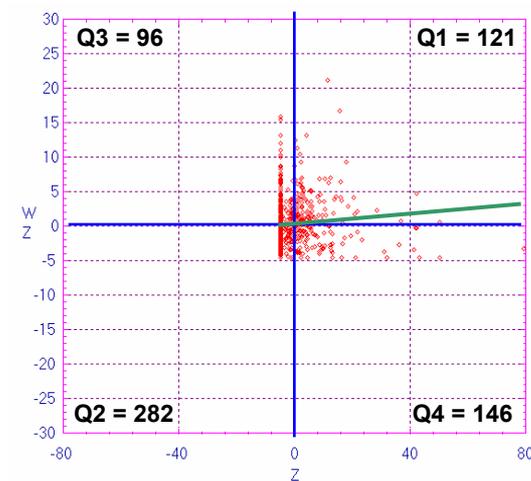
Figura 7.18 – Diagrama de espalhamento de *Moran* da variável TMA_01



LEGENDA:

- Pontos observados
- Linha de tendência

Figura 7.19 – Diagrama de espalhamento de *Moran* da variável TMA_02



LEGENDA:

- Pontos observados
- Linha de tendência

Figura 7.20 – Diagrama de espalhamento de *Moran* da variável TMA_03

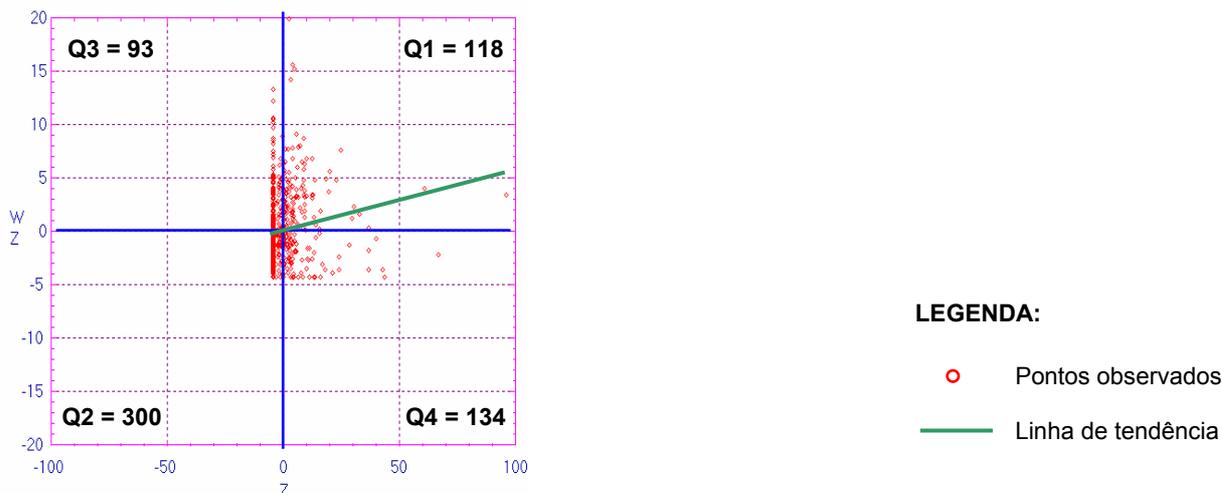


Figura 7.21 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável TMA_04

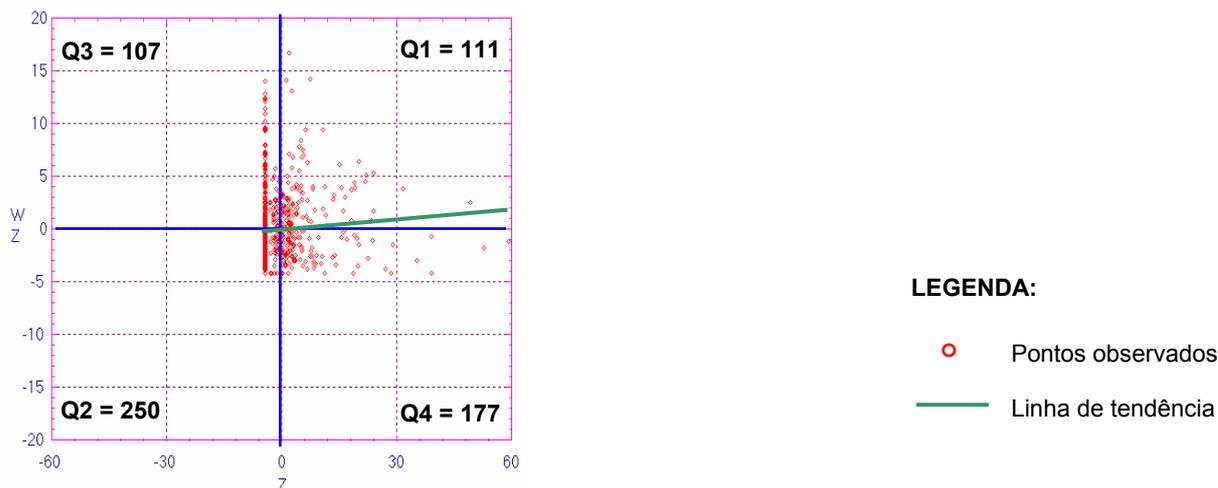


Figura 7.22 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável TMA_05

Para todos os anos observados, o comportamento da variável TMA é relativamente igual, existindo uma grande concentração de pontos localizados nos quadrantes Q1 e Q2, indicando a existência de muitas regiões onde o valor do atributo medido assemelha-se aos valores médios de seus vizinhos. Em média, 62% dos pontos (cerca de 400 dos 645 pontos) estão localizados nos quadrantes Q1 e Q2. Estes percentuais podem ser vistos no quadro 7.4.

Quadro 7.4 – Pontos localizados nos quadrantes Q1 e Q2 (em %)

Taxa de Mortalidade por Atropelamento – TMA										
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Quadrante Q1 – Q2	66	60	62	65	62	63	60	63	65	56

Estes resultados podem ser observados no *Box Map* (Figuras 7.23 a 7.32), onde cada área está associada ao quadrante a que pertence no diagrama de espalhamento de *Moran*.

7.4.2.2 *Box Map*

A construção de um *box map* é direta, consistindo somente em destacar os *clusters* e *outliers* em um mapa quartil (quatro quantis). É uma extensão do Diagrama de Espalhamento de *Moran*, onde os elementos de cada quadrante do diagrama são representados por uma cor específica com seus respectivos polígonos.

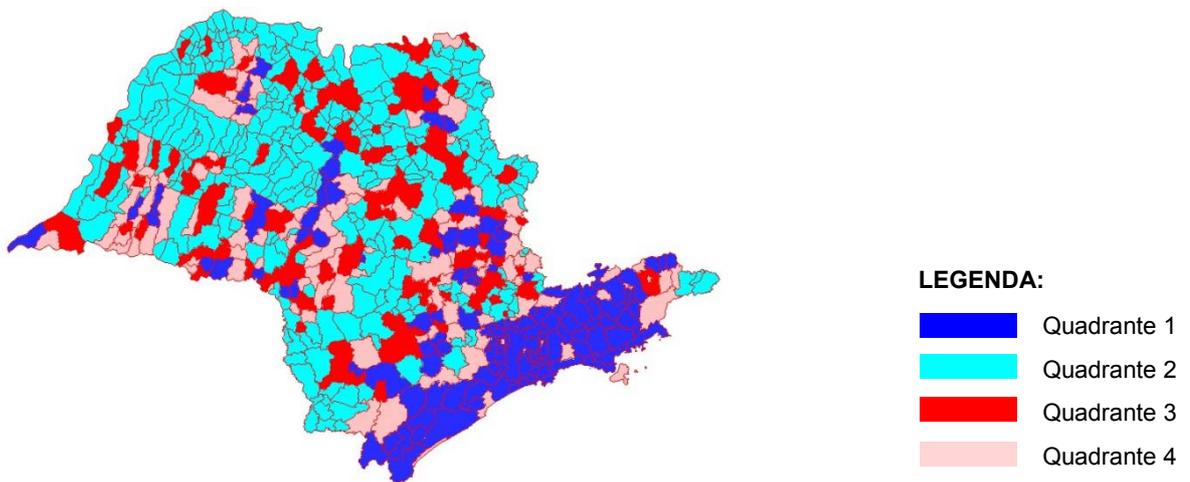


Figura 7.23 – *Box Map* da variável TMA_96

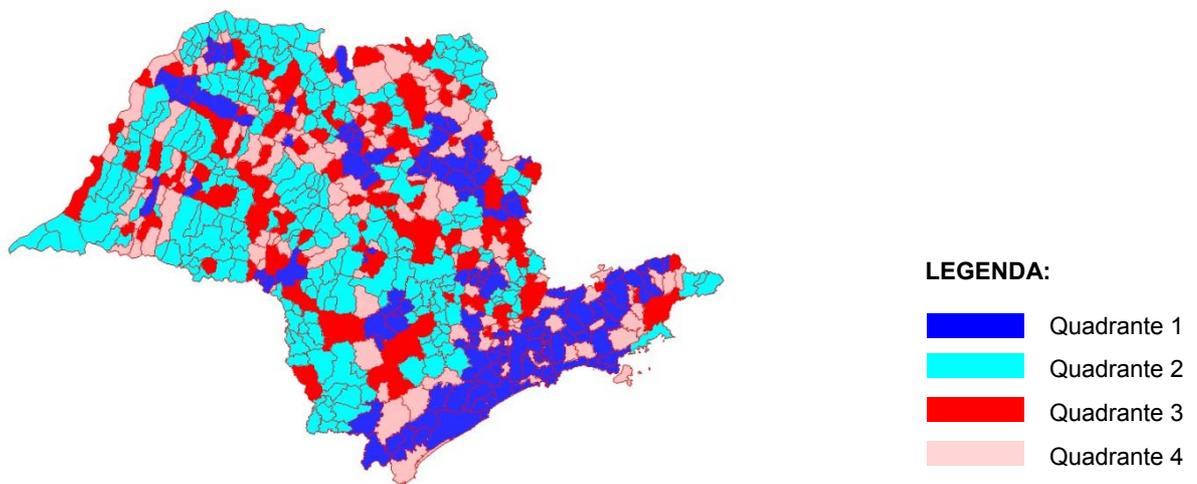


Figura 7.24 – *Box Map* da variável TMA_97

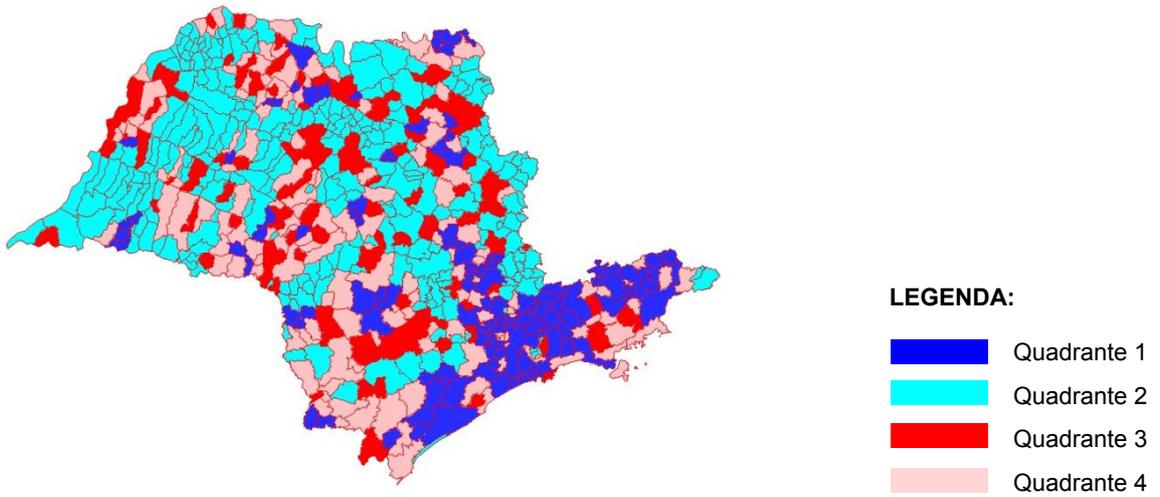


Figura 7.25 – Box Map da variável TMA_98

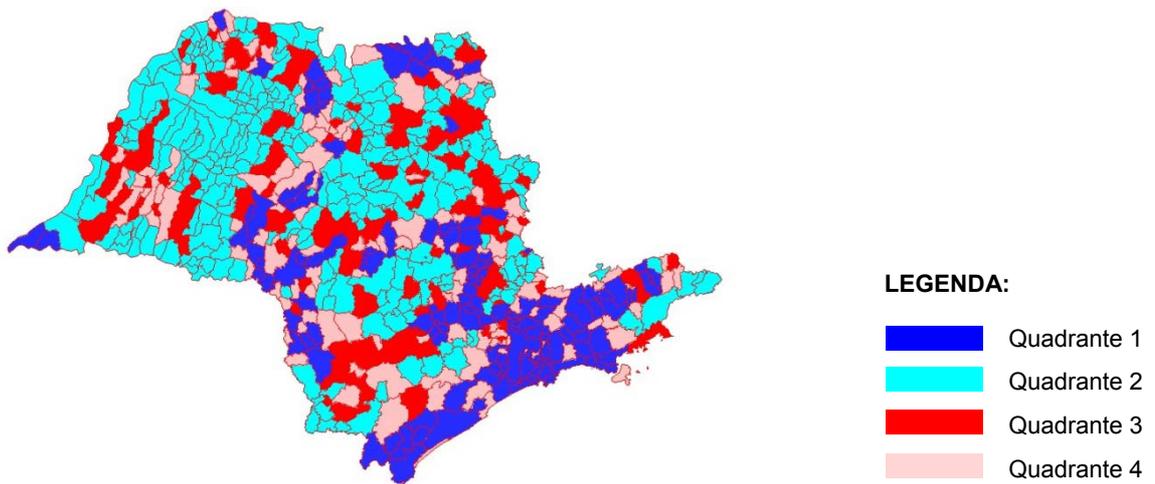


Figura 7.26 – Box Map da variável TMA_99

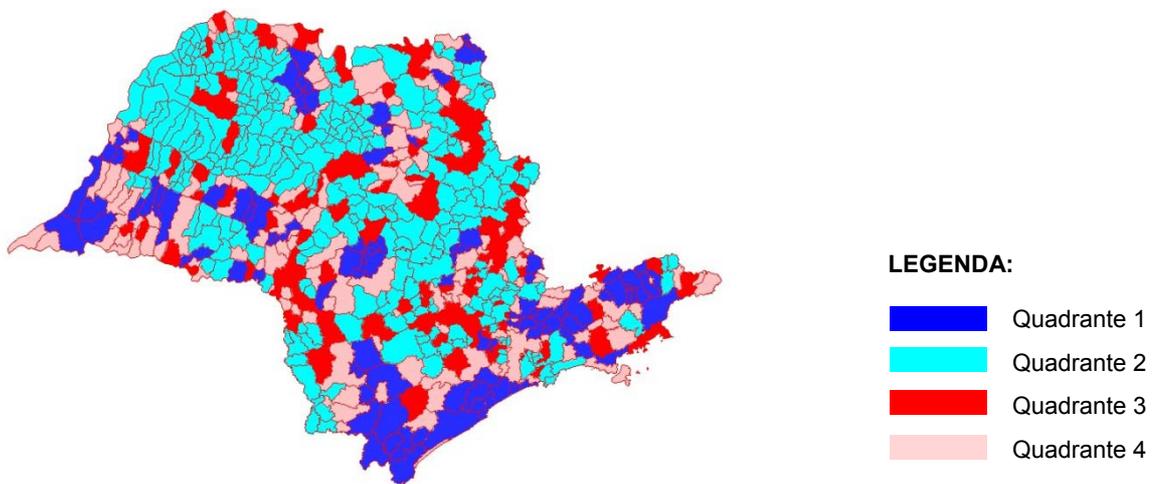


Figura 7.27 – Box Map da variável TMA_00

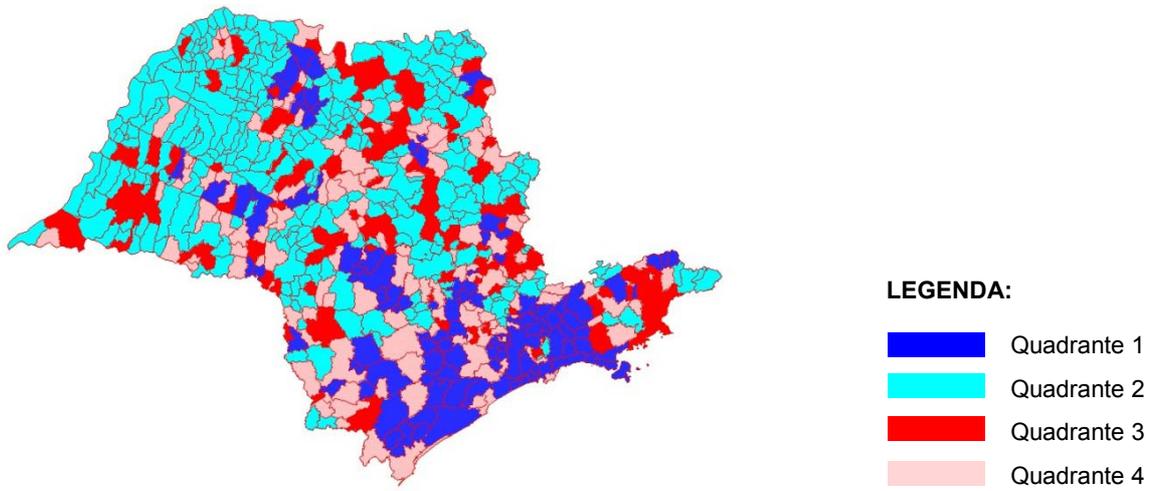


Figura 7.28 – Box Map da variável TMA_01

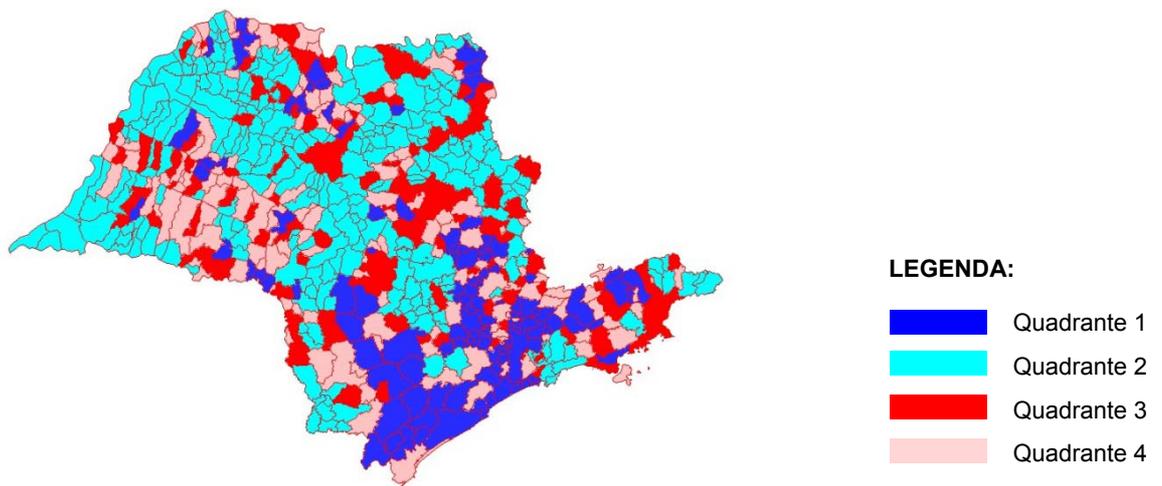


Figura 7.29 – Box Map da variável TMA_02

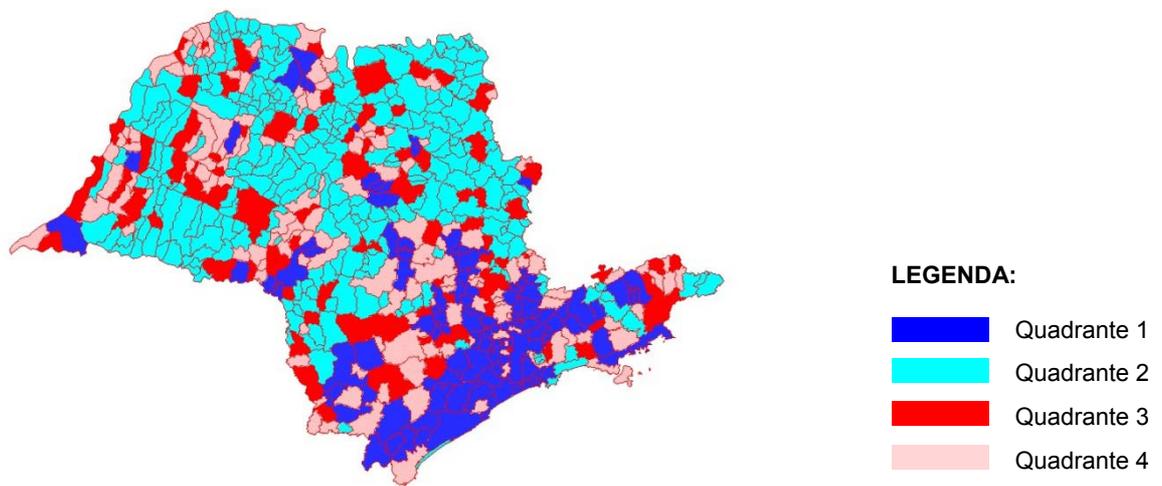


Figura 7.30 – Box Map da variável TMA_03

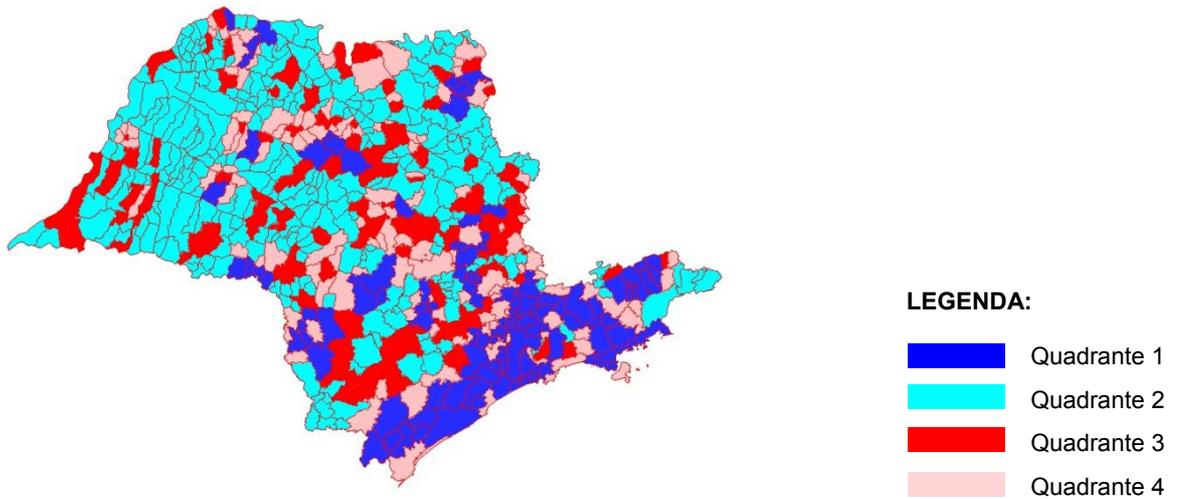


Figura 7.31 – Box Map da variável TMA_04

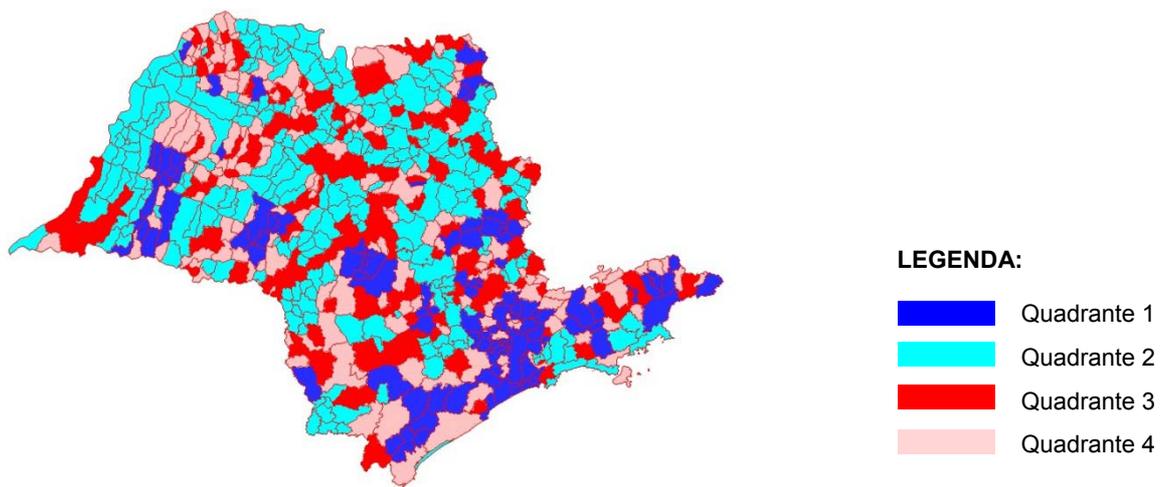


Figura 7.32 – Box Map da variável TMA_05

Na seqüência será calculado o índice local de *Moran*, que tem por objetivo indicar as regiões que apresentam correlação local significativamente diferente do restante dos dados.

7.4.3 Cálculo do Índice Local de *Moran*

Por envolver um grande número de observações (645 municípios) podem ocorrer diferentes regimes de associação espacial, com locais de autocorrelação mais pronunciada, onde a dependência espacial é mais evidente. É importante que estes locais sejam analisados com mais detalhes. Para tanto, é preciso utilizar indicadores de associação espacial que possam ser associados às diferentes localizações de uma variável

distribuída espacialmente. Estes indicadores produzem um valor específico para cada área, permitindo assim a identificação de padrões de associação espacial significativos.

7.4.3.1 Lisa Map

O mapa denominado *Lisa Map* indica as regiões que apresentam correlação local significativa, os *clusters*, onde as áreas de ponderação se diferenciam das demais áreas do estado (BICHR, *et al*, 2005). Na geração deste mapa os índices locais de *Moran* são classificados da seguinte forma: não significantes (valor zero na legenda), com significância de 95% (valor um na legenda), com significância de 99% (valor dois na legenda) e 99,9% (valor três na legenda). As Figuras 7.33 a 7.42 trazem os *Lisa Map* para as variáveis TMA_96 a TMA_05.

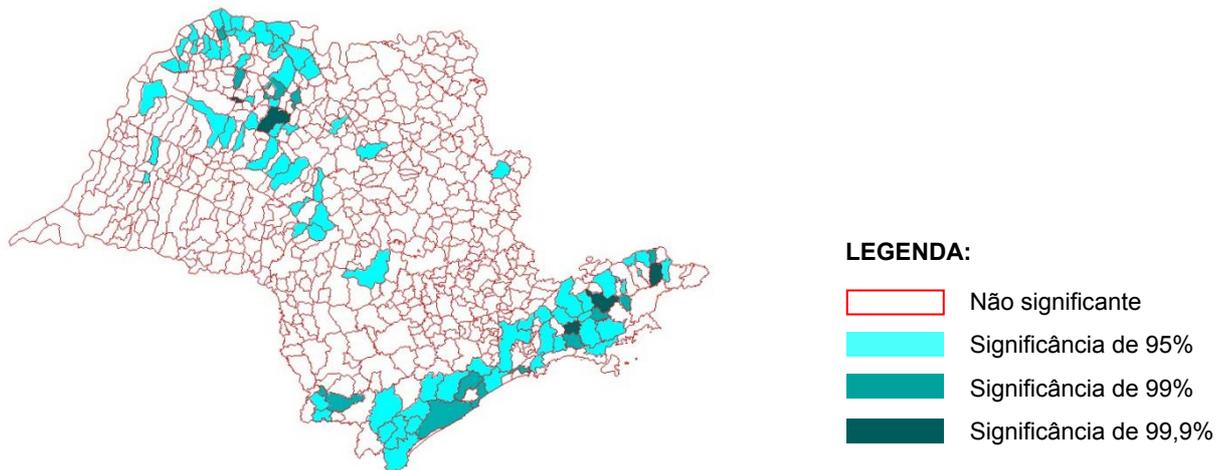


Figura 7.33 – Lisa Map da variável TMA_96

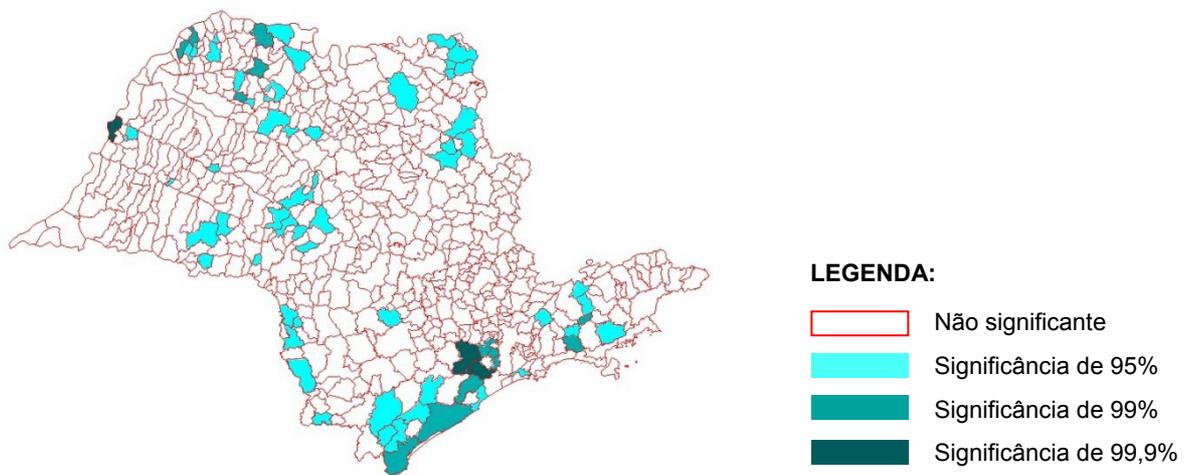


Figura 7.34 – Lisa Map da variável TMA_97

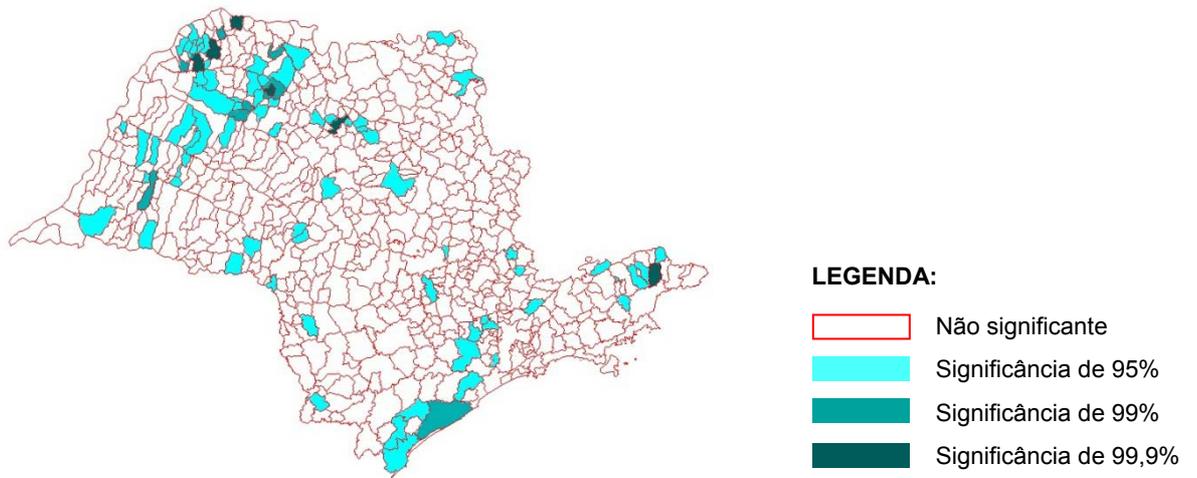


Figura 7.35 – Lisa Map da variável TMA_98

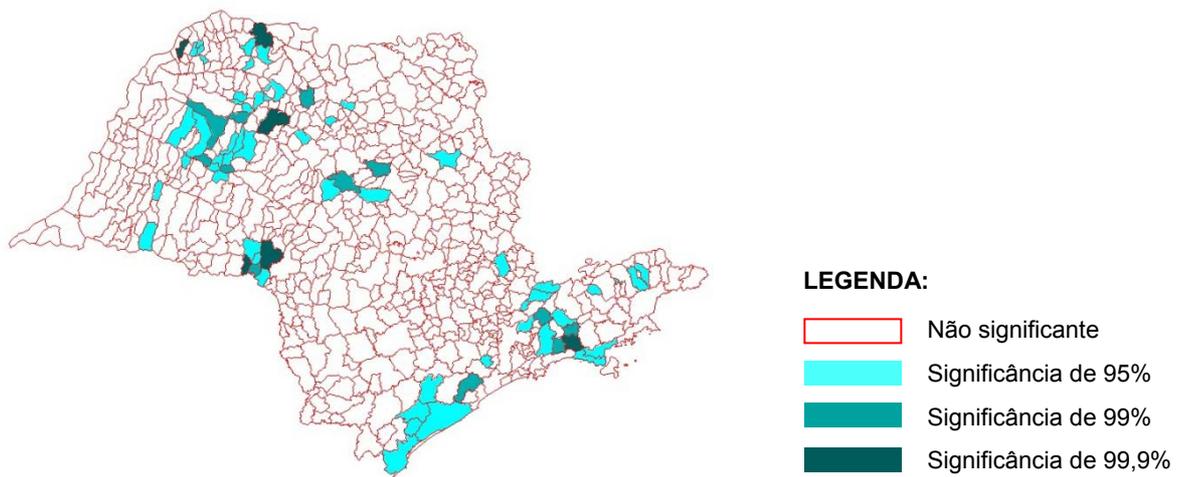


Figura 7.36 – Lisa Map da variável TMA_99

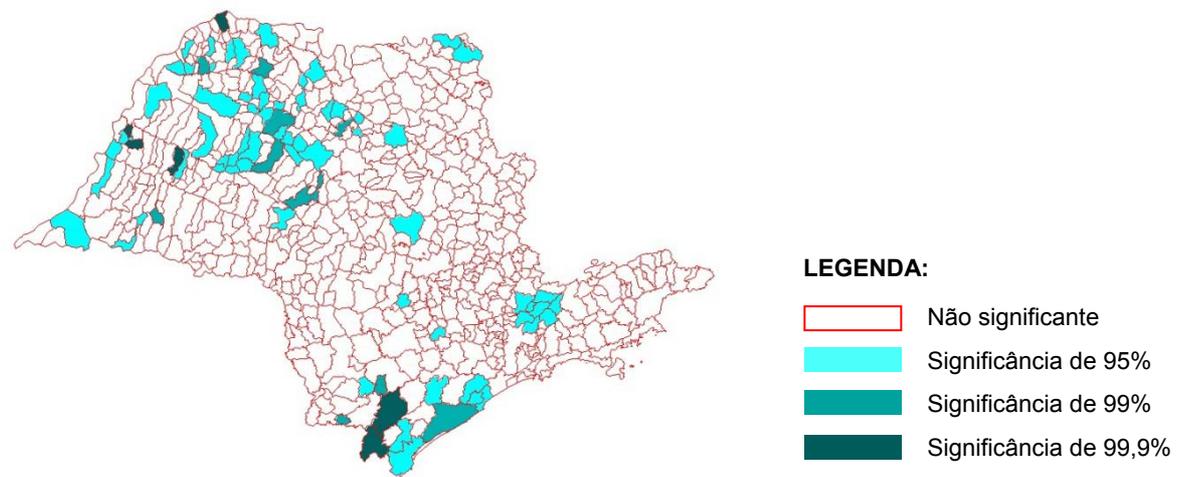


Figura 7.37 – Lisa Map da variável TMA_00

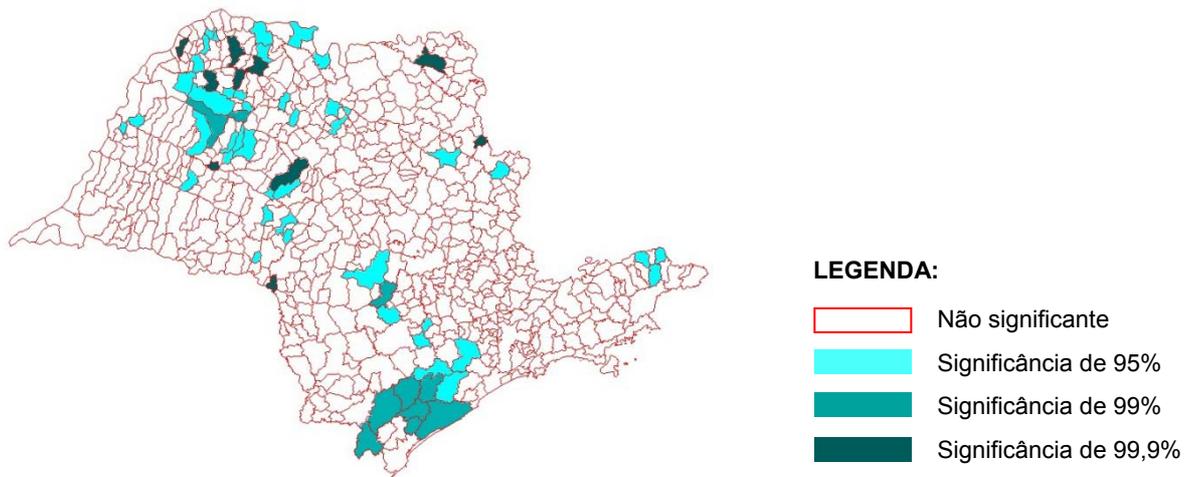


Figura 7.38 – Lisa Map da variável TMA_01

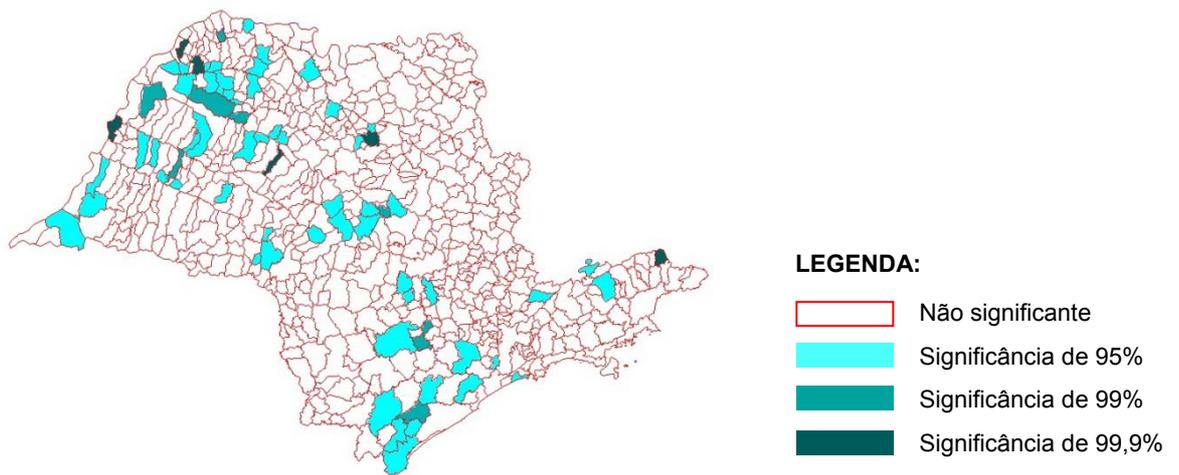


Figura 7.39 – Lisa Map da variável TMA_02

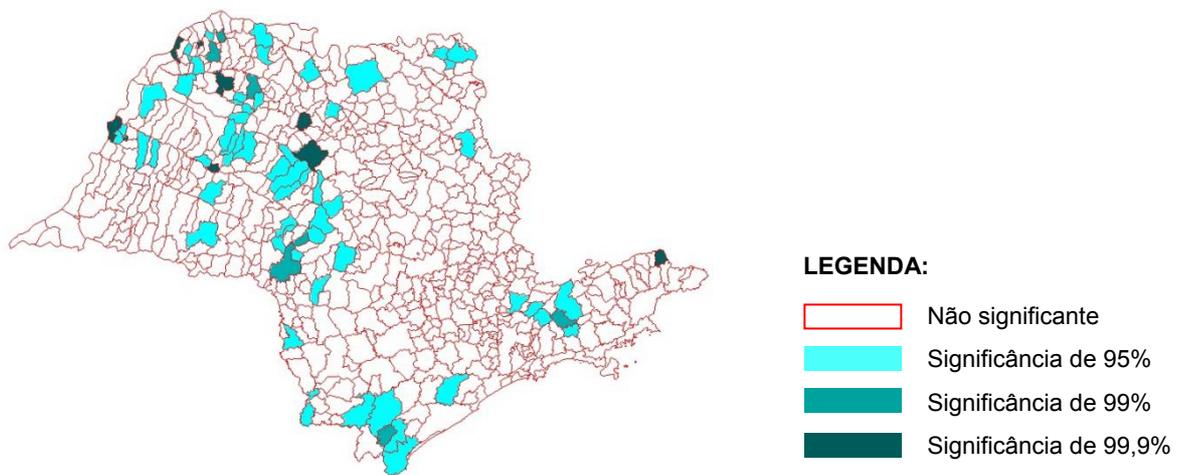


Figura 7.40 – Lisa Map da variável TMA_03

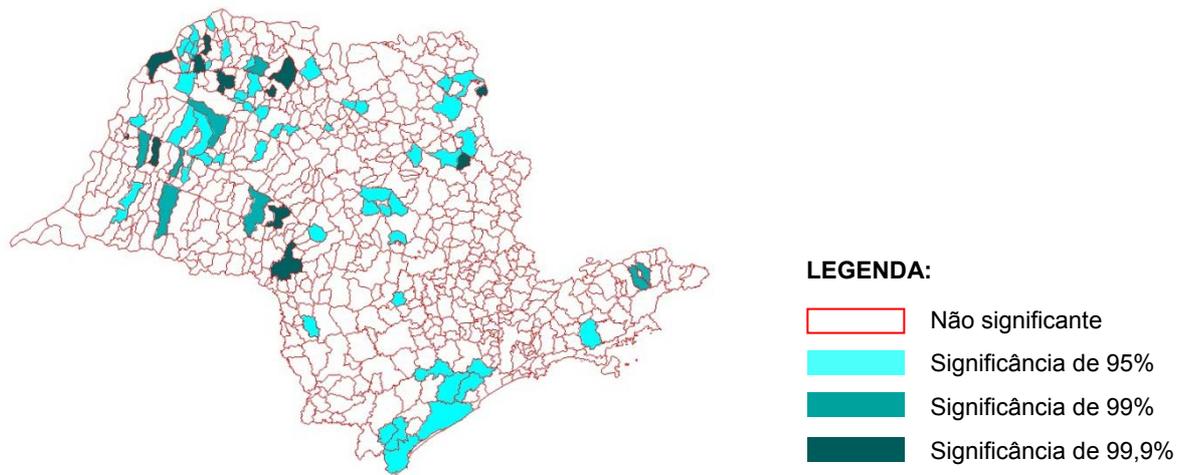


Figura 7.41 – Lisa Map da variável TMA_04

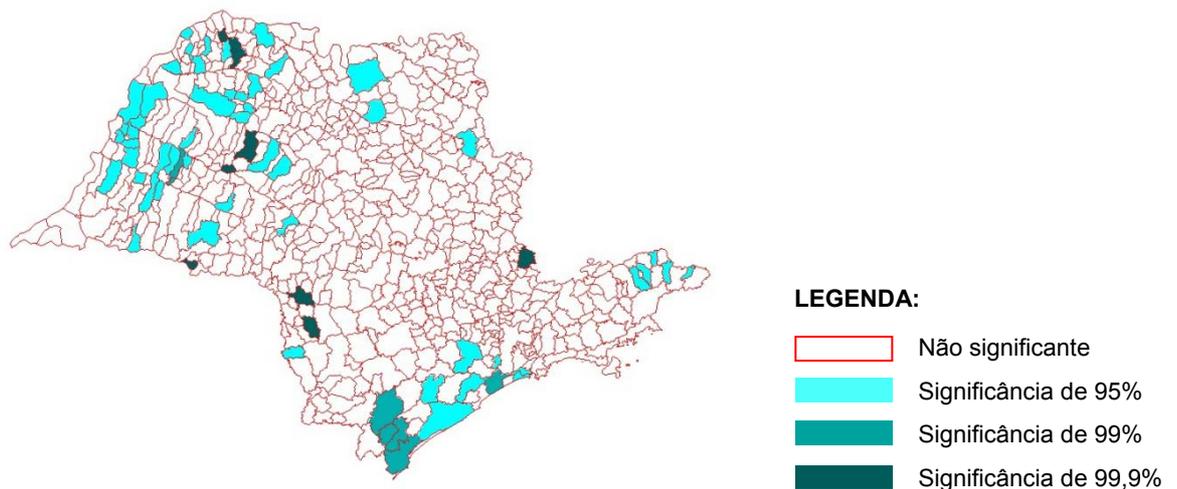


Figura 7.42 – Lisa Map da variável TMA_05

O *Lisa Map* foi construído para todas as variáveis referentes às taxas de mortalidade por atropelamento. Os resultados, dispostos nas Figuras 7.33 a 7.42 apresentam semelhança em todos os anos estudados, sendo que em média, 88,4% das áreas (cerca de 570 municípios) não apresentaram significância estatística relacionada à autocorrelação espacial. Dos 645 municípios, 57,3 áreas (8,9%) apresentaram significância de 95%; 10,3 áreas (1,6%) apresentaram significância de 99% e somente 7 áreas (1,1%) apresentaram significância de 99,9%. No quadro 7.5 estes resultados são apresentados em números absolutos de áreas, em valores médios e em valores médios percentuais para cada variável estudada.

Complementarmente, é apresentado um gráfico (FIGURA 7.43) onde a evolução das opções de significância estão representadas. Observa-se que a linha de evolução que representa áreas não significantes e também a linha que representa significância de 99,9% têm comportamento crescente, enquanto as linhas para áreas de significância de 95% e 99% tem comportamento ligeiramente decrescente.

Quadro 7.5 – Resultados dos *Lisa Map*

VARIÁVEL	SIGNIFICÂNCIA			
	0	95%	99%	99,9%
TMA_96	556	68	17	4
TMA_97	574	53	14	4
TMA_98	566	63	11	5
TMA_99	578	52	10	5
TMA_00	560	67	11	7
TMA_01	575	51	9	10
TMA_02	574	56	9	6
TMA_03	570	59	7	9
TMA_04	573	52	8	12
TMA_05	578	52	7	8
MÉDIA	570,4	57,3	10,3	7
MÉDIA (%)	88,4	8,9	1,6	1,1

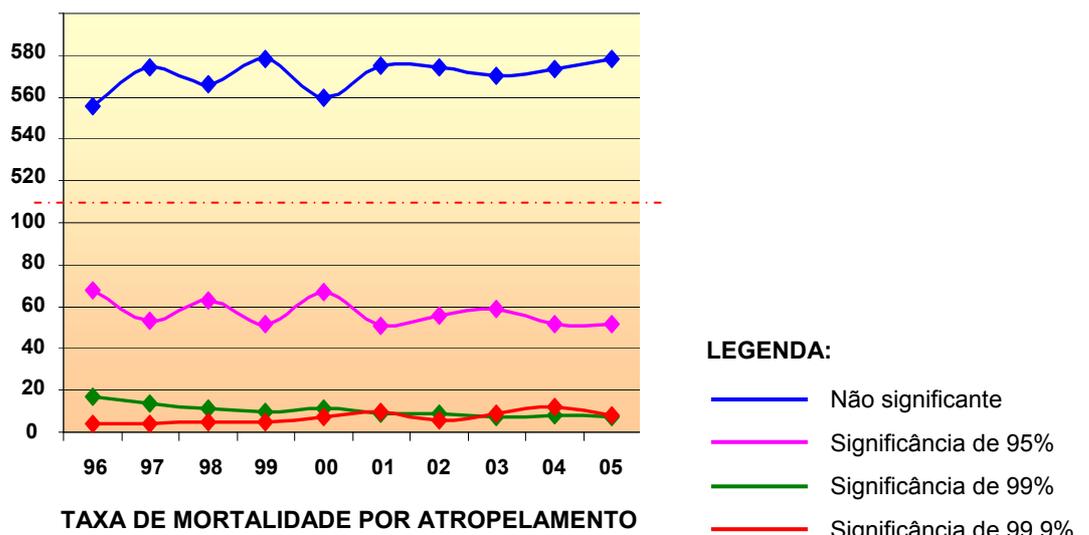


Figura 7.43 – Evolução dos resultados dos *Lisa Map* para as variáveis TMA no período de 1996 a 2005.

7.4.3.2 Moran Map

O *Moran Map* analisa somente os valores significantes obtidos do *Lisa Map*, que são classificados em quatro grupos, ou seja, identifica os *clusters* conforme os quadrantes a que pertencem. Os valores que pertencem aos quadrantes Q1 e Q2 indicam a existência de muitas regiões onde o valor do atributo assemelha-se aos valores de seus vizinhos e, os valores pertencentes aos quadrantes Q3 e Q4 são áreas que podem ser consideradas de transição (KREMPI, 2004). Na legenda, portanto, aparecerão as áreas com valores não significantes, as áreas consideradas de transição e as áreas pertencentes aos quadrantes Q1 e Q2. As Figuras 7.44 a 7.53 trazem os *Moran Map*.

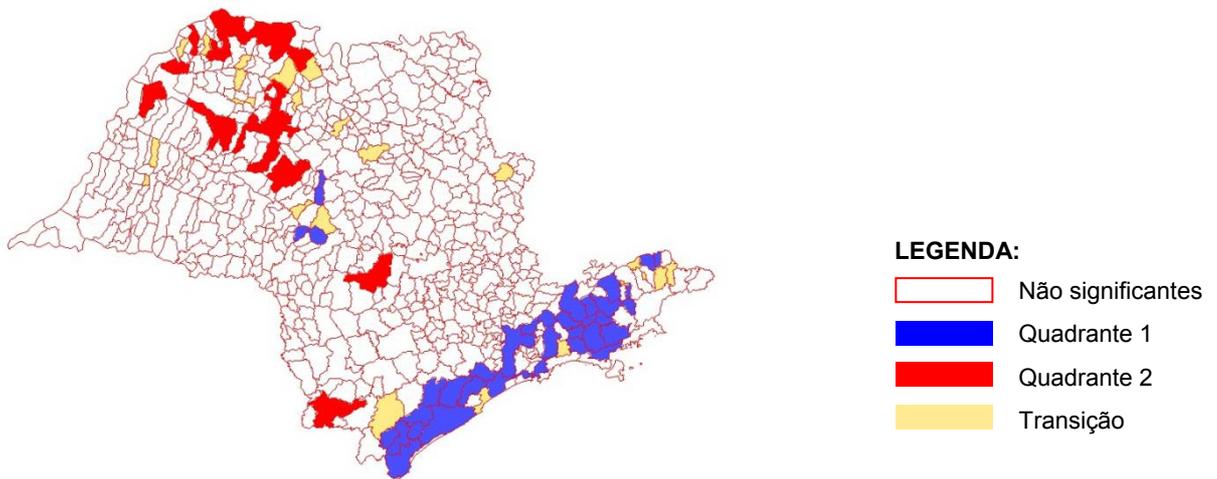


Figura 7.44 – *Moran Map* da variável TMA_96

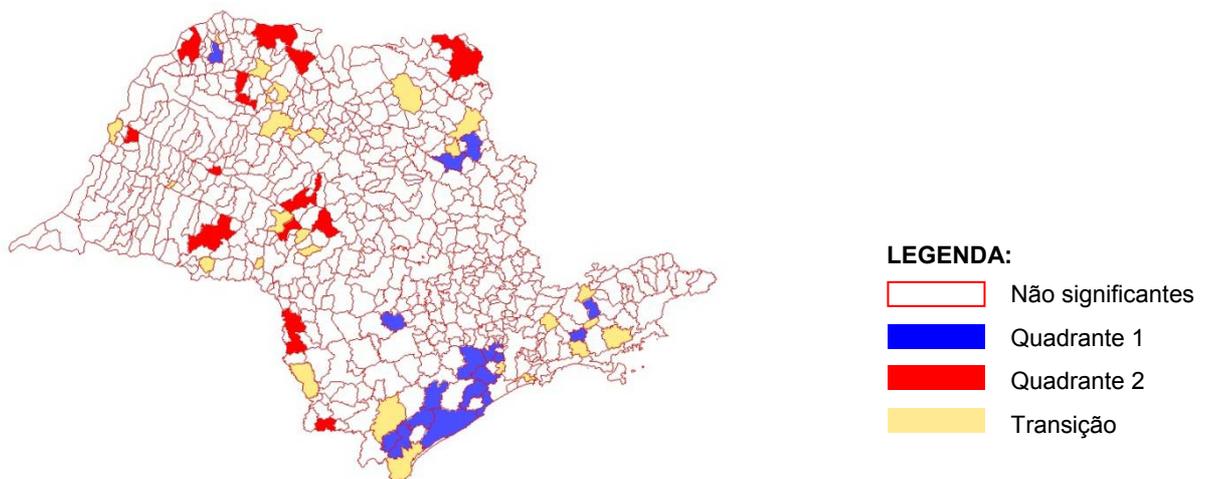


Figura 7.45 – *Moran Map* da variável TMA_97

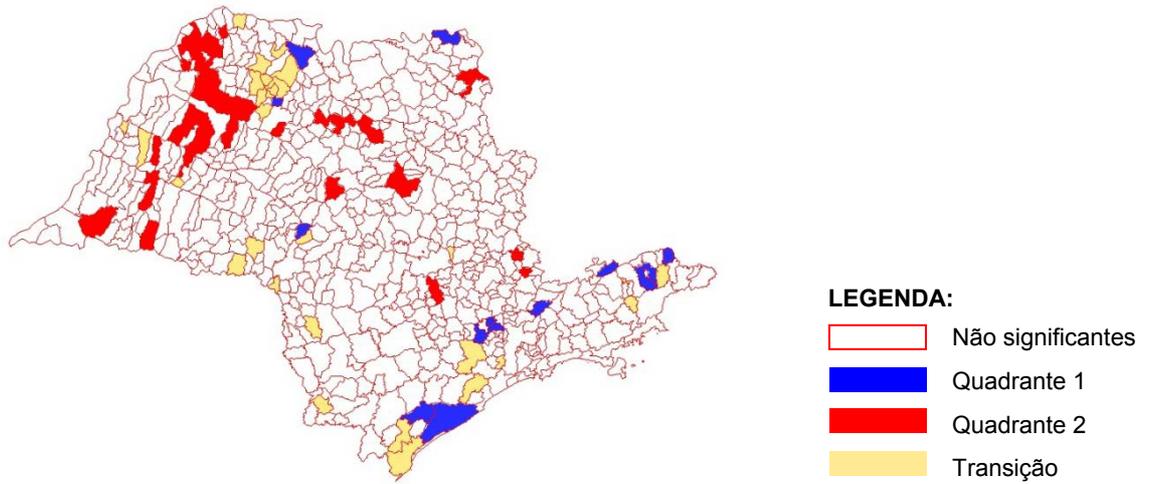


Figura 7.46 – Moran Map da variável TMA_98

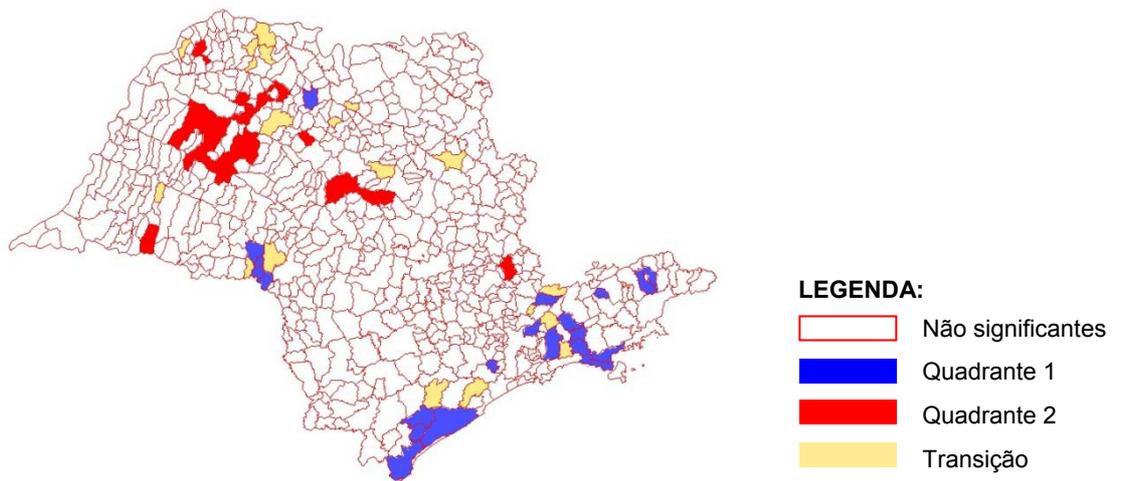


Figura 7.47 – Moran Map da variável TMA_99

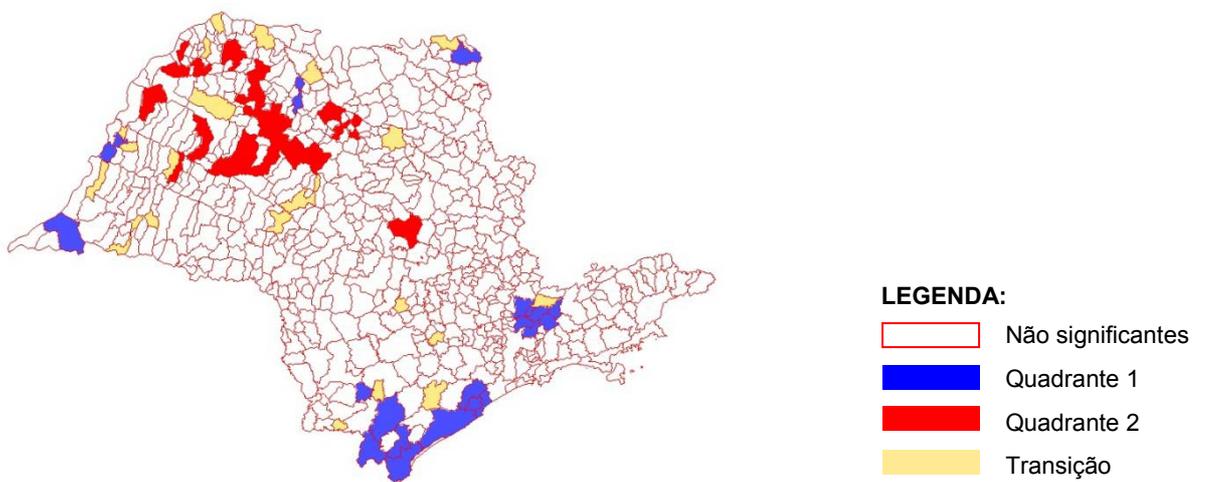


Figura 7.48 – Moran Map da variável TMA_00

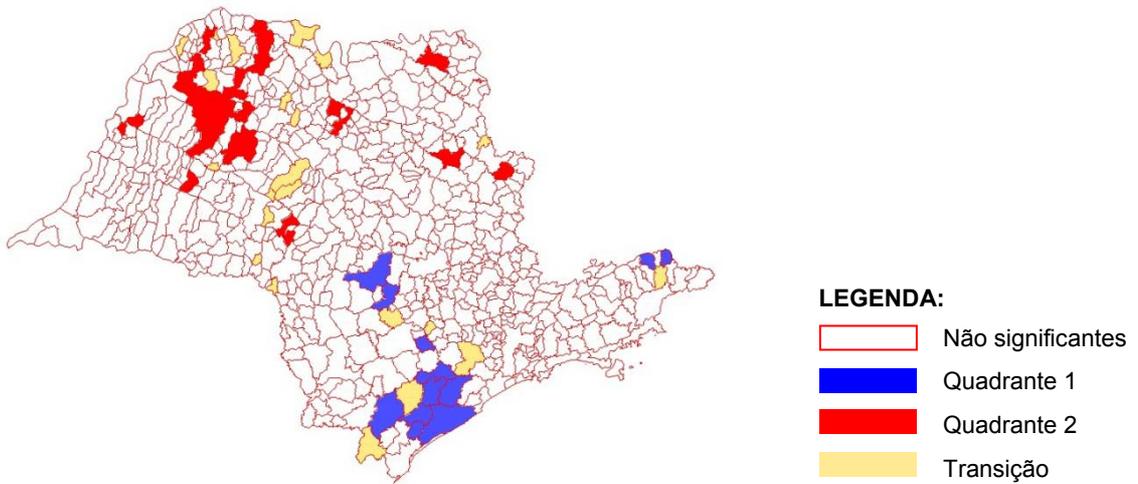


Figura 7.49 – Moran Map da variável TMA_01

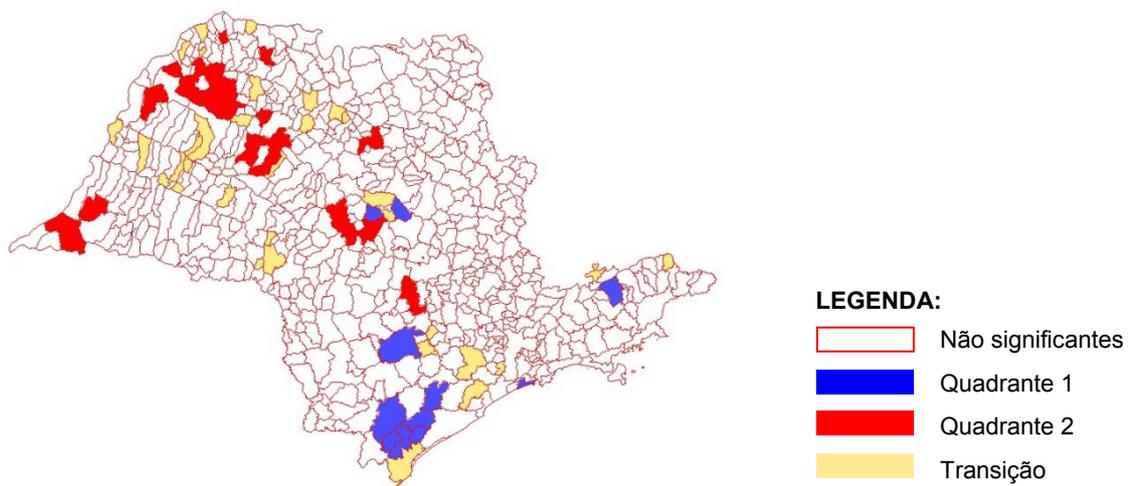


Figura 7.50 – Moran Map da variável TMA_02

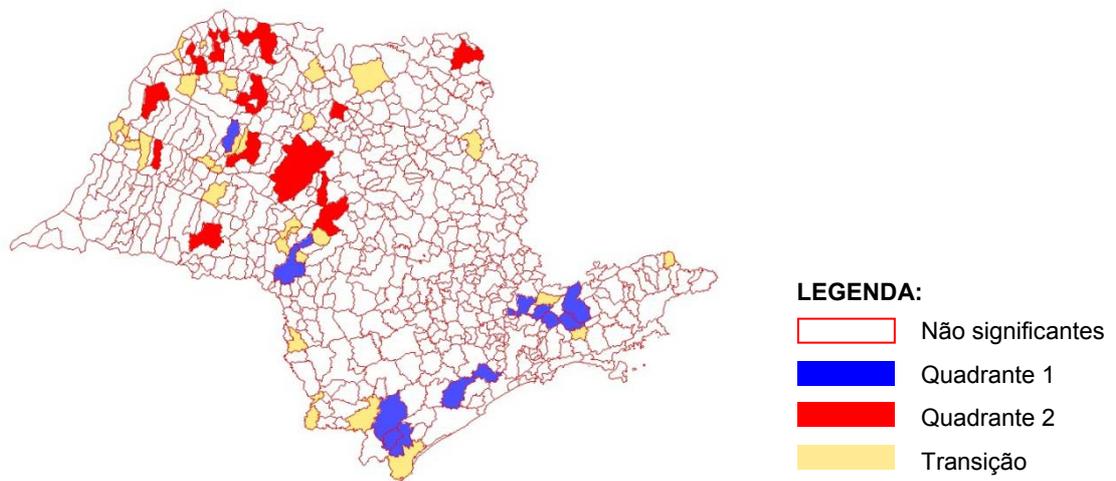


Figura 7.51 – Moran Map da variável TMA_03

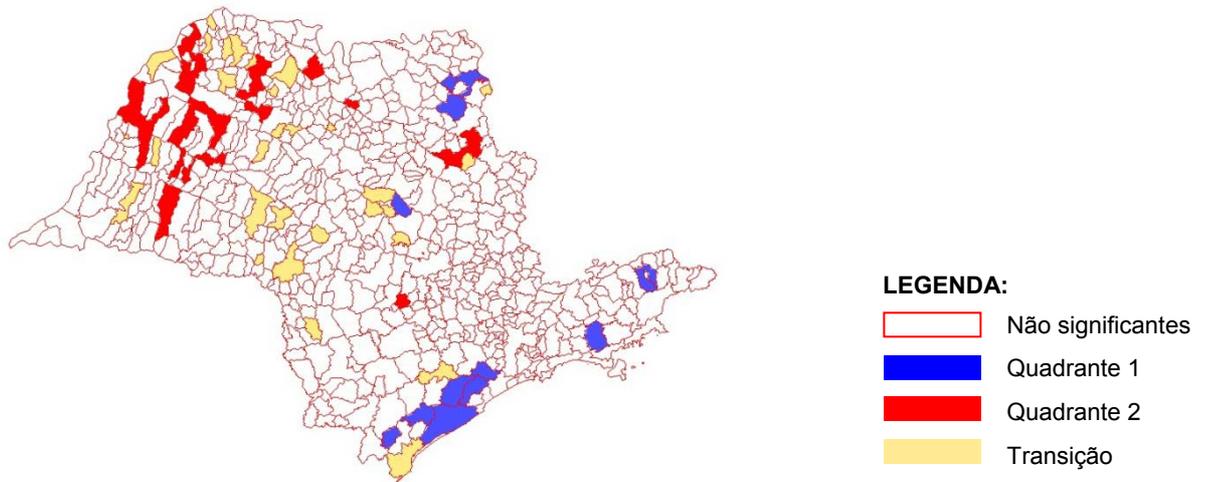


Figura 7.52 – Moran Map da variável TMA_04

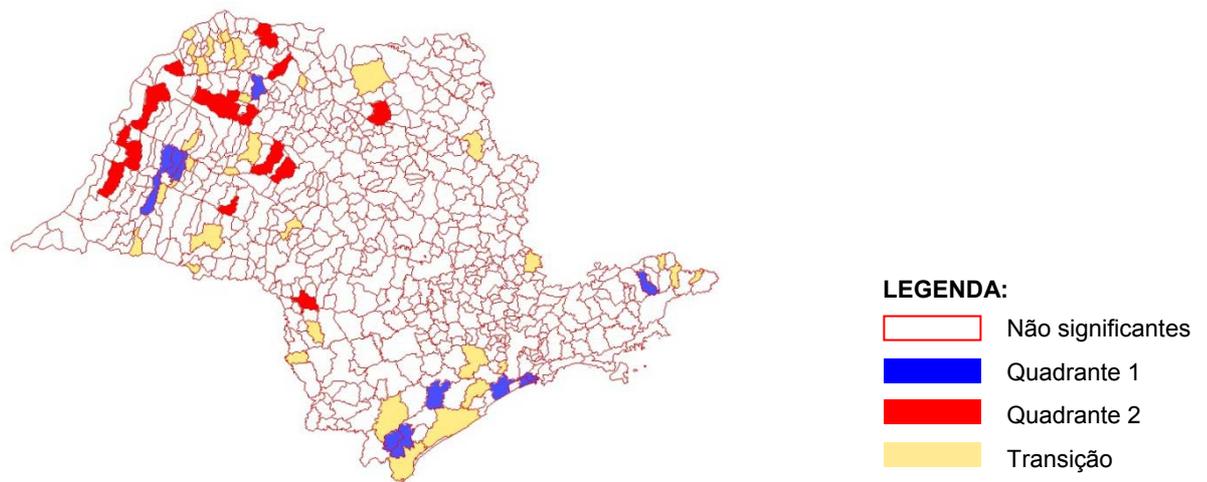


Figura 7.53 – Moran Map da variável TMA_05

Nota-se que as áreas de autocorrelação positiva, na grande maioria das análises são coincidentes. Para ser possível uma visualização mais precisa, foi construído um mapa (Figura 7.54) contendo todas as áreas em que ao menos 20% das análises apontaram para a autocorrelação positiva. Este mapa foi construído a partir da interpolação de todos os *Moran Maps*, sendo desconsideradas as áreas não significantes e as áreas de transição. Foram locadas no mapa as áreas com significância superior a 95% e pertencentes aos quadrantes Q1 e Q2, indicadores de autocorrelação espacial positiva.

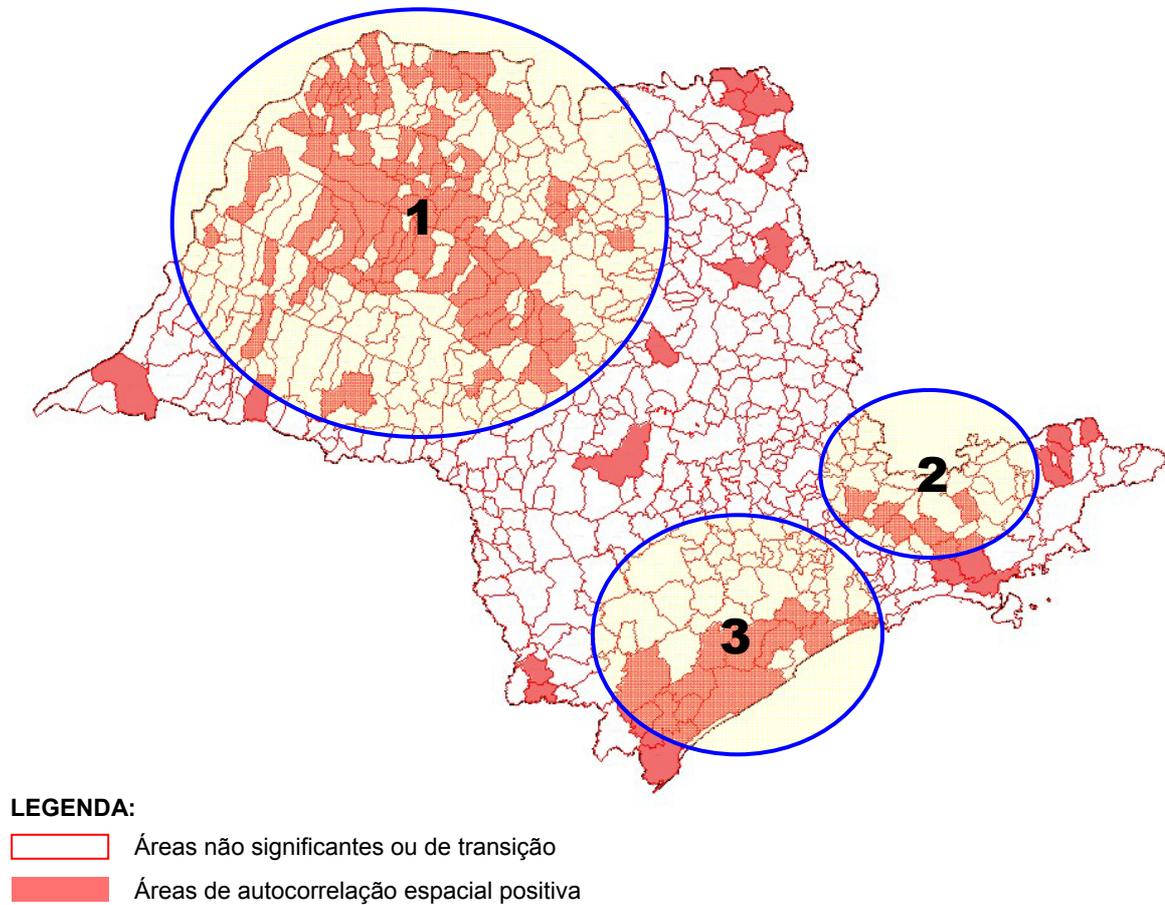


Figura 7.54 – Distribuição das áreas com autocorrelação espacial positiva para a variável TMA

Desta forma foram detectados três agrupamentos de áreas com autocorrelação espacial positiva (*clusters*), sendo o primeiro localizado na região noroeste e centro-oeste do estado de São Paulo (mesorregiões de São José do Rio Preto, Araçatuba e Bauru), o segundo, na região sudeste do estado, na divisão da RMSP e mesorregião do Vale do Paraíba Paulista, e o terceiro agrupamento, pertencente à região sul, onde está a mesorregião do Litoral Sul.

A RMSP é composta por 39 municípios, é a principal metrópole da América do Sul e concentra a maioria dos municípios mais populosos do estado (IPEA, 2001). De acordo com o artigo 153 da Constituição Estadual, considera-se região metropolitana o agrupamento de municípios limítrofes que assuma destacada expressão nacional. Em razão da elevada densidade demográfica, significativa conurbação e funções urbanas e regionais com alto grau de diversidade, especialização e integração socioeconômica, exige

planejamento integrado e ação conjunta permanente dos entes públicos nela atuantes. De acordo com IBGE (2000), as mesorregiões são um conjunto de microrregiões agrupadas com base no quadro natural, no processo social e na rede de comunicações e de lugares. Estas áreas que indicam autocorrelação espacial positiva das variáveis referentes às taxas de mortalidade por atropelamento serão utilizadas para verificar a correlação com as variáveis que se referem aos aspectos da população, da urbanização, do desenvolvimento humano e do trânsito nas áreas envolvidas.

7.5 Estatística espacial dos indicadores

Após a primeira fase de análise, que foi o estudo das Taxas de Mortalidade por Atropelamento, teve início a análise dos indicadores, para comparação com a TMA. A codificação está disposta no Quadro 7.6:

Quadro 7.6 – Codificação dos indicadores

Código	Descrição da variável	Classificação
CREP	Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População	INDICADORES DE ASPECTO POPULACIONAL
DENS	Densidade Demográfica	
IDAP	Idade Média da População	
NICE	Nível de Centralidade	INDICADORES DE URBANIZAÇÃO
URB	Grau de Urbanização	
IDHM	IDH-Municipal	INDICADOR DE DESENVOLVIMENTO HUMANO
IM	Índice de Motorização	INDICADORES DE TRÂNSITO
TRAM	Trânsito Municipalizado	

7.5.1 Cálculo da Média Espacial Móvel

Novamente as análises tiveram início pelo cálculo da média espacial móvel, com o intuito de verificar a tendência espacial das variáveis que serão analisadas. As Figuras 7.55 a 7.62 trazem os mapas com a distribuição das médias espaciais móveis em suas respectivas áreas.

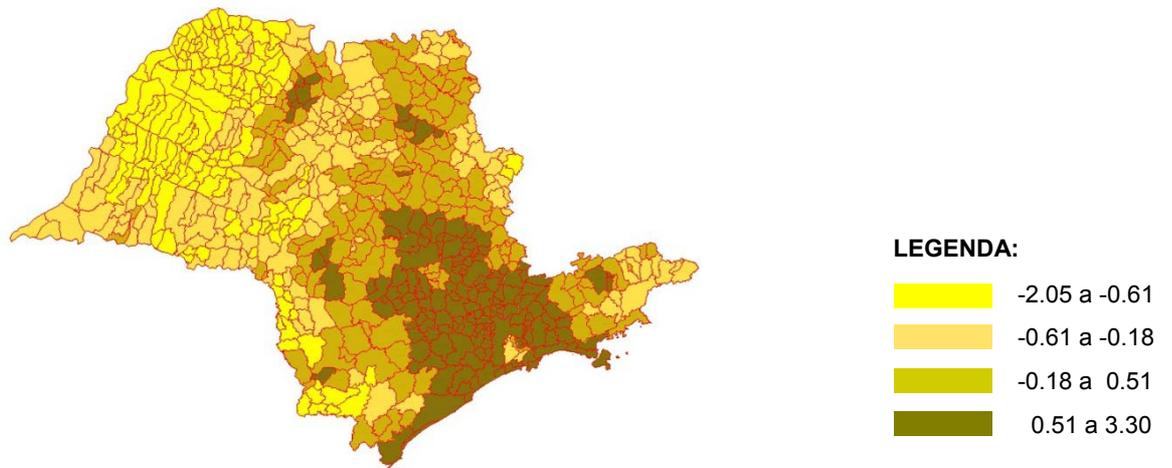


Figura 7.55 – Média espacial móvel para a variável CREP

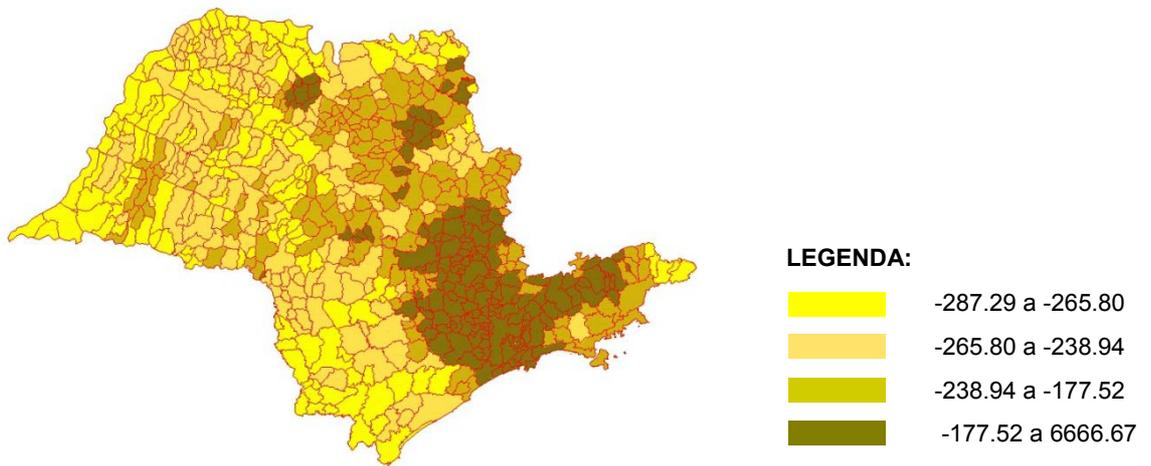


Figura 7.56 – Média espacial móvel para a variável DENS

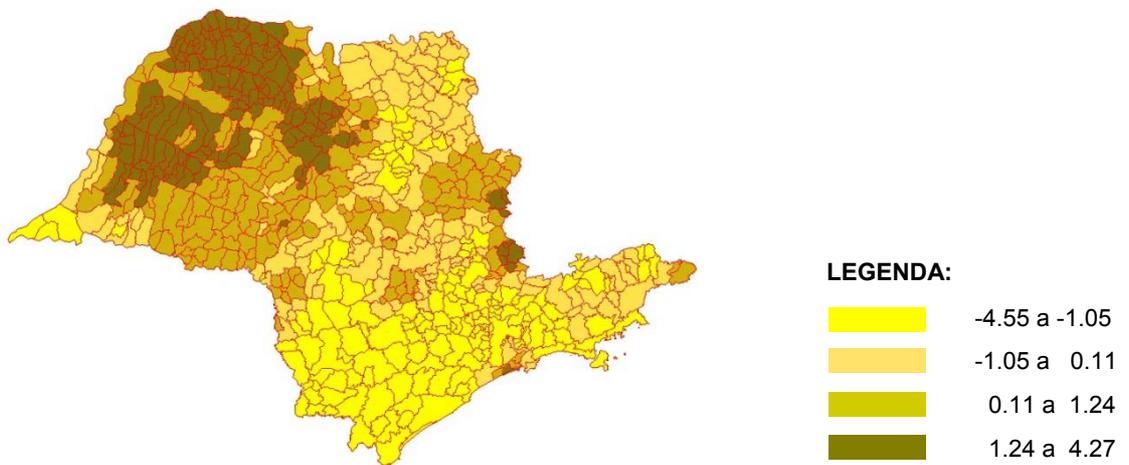


Figura 7.57 – Média espacial móvel para a variável IDAP

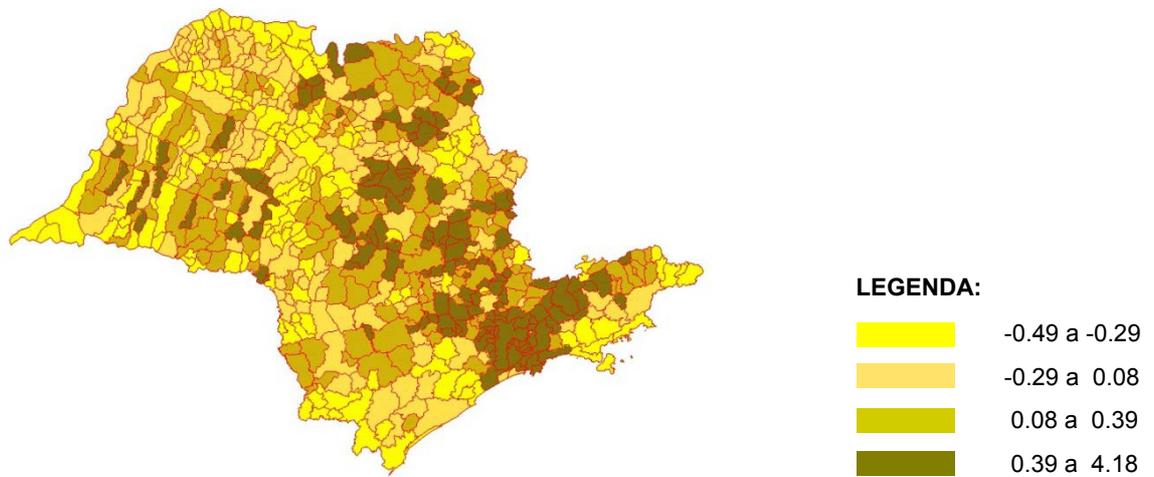


Figura 7.58 – Média espacial móvel para a variável NICE

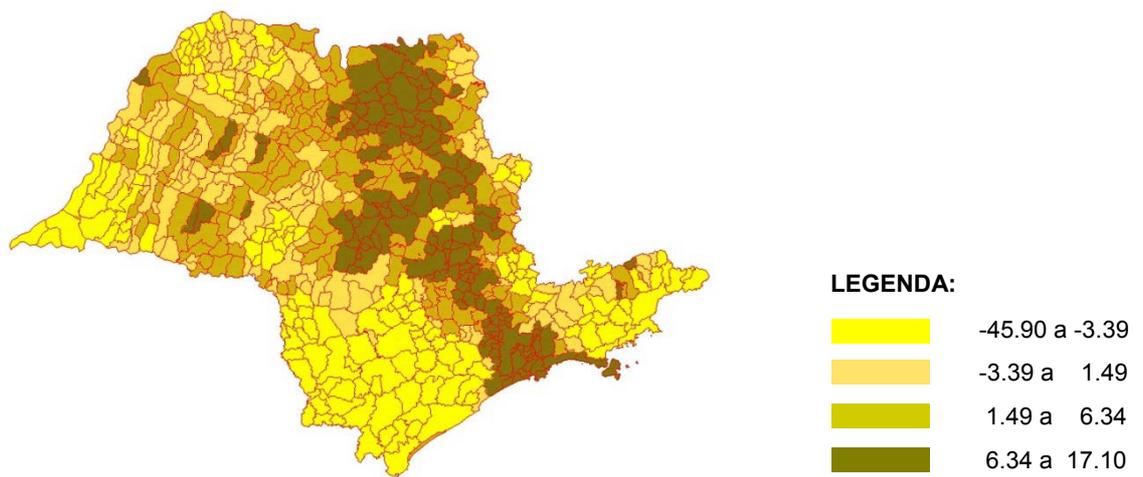


Figura 7.59 – Média espacial móvel para a variável URB

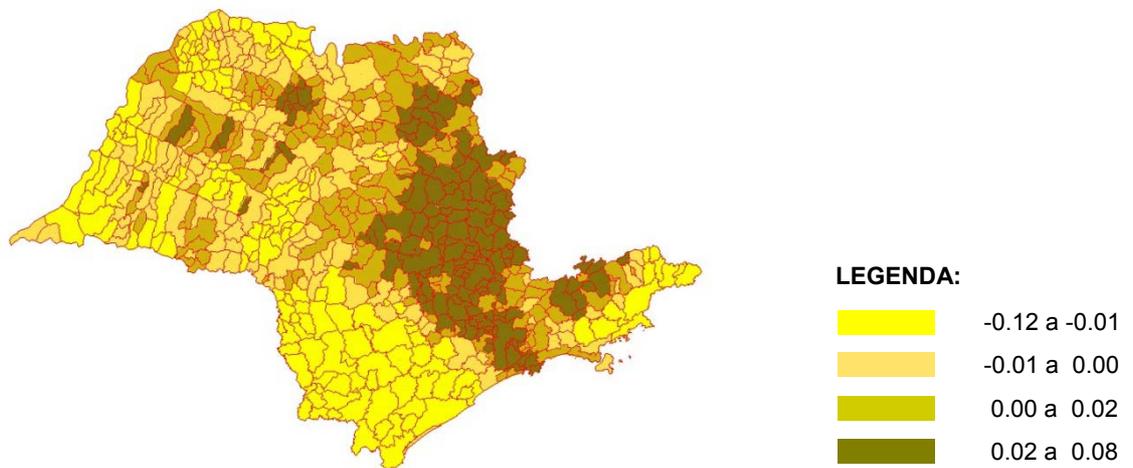


Figura 7.60 – Média espacial móvel para a variável IDHM

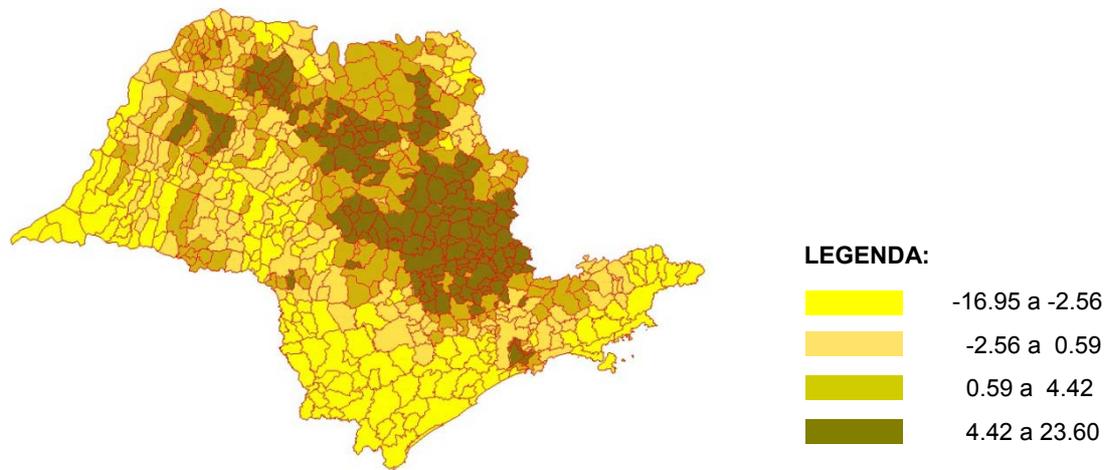


Figura 7.61 – Média espacial móvel para a variável IM

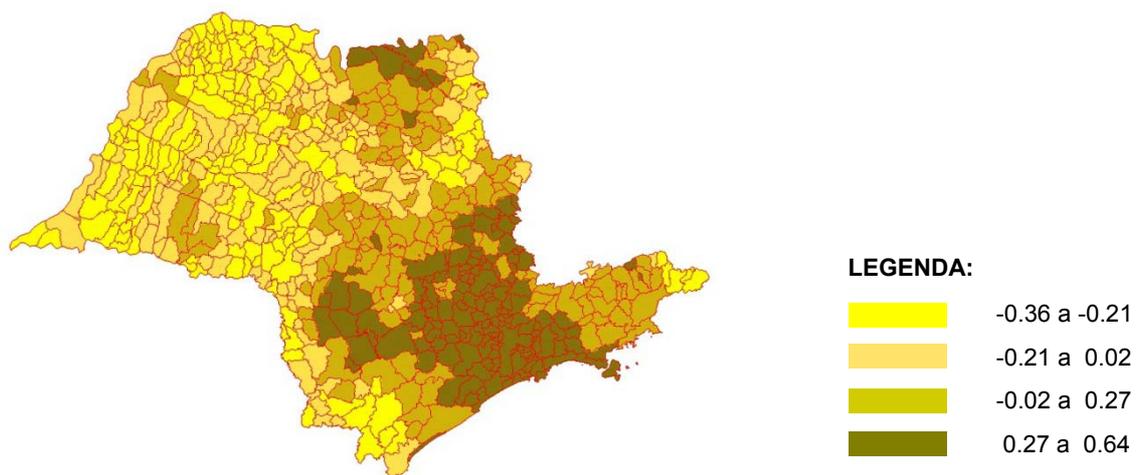


Figura 7.62 – Média espacial móvel para a variável TRAM

As Figuras 7.55 a 7.62 mostraram a tendência da distribuição espacial dos indicadores que estão sendo analisados. Pode-se fazer uma análise prévia dos indicadores, quanto à sua classificação:

- Aspecto populacional: CREP e DENS - apresentam os maiores índices na RMSP, na Macrometropolitana Paulista, nas mesorregiões de Campinas, Piracicaba, Itapetininga, Litoral Sul Paulista e Vale do Paraíba; IDAP apresenta valores maiores nas mesorregiões de São José do Rio Preto, Araçatuba e Presidente Prudente.

- Urbanização: os indicadores NICE e URB apresentam valores maiores na RMSP, na Macrometropolitana Paulista, Mesorregiões do Vale do Paraíba, de Campinas, de Piracicaba, Ribeirão Preto, Araraquara e Bauru.
- Desenvolvimento humano: o IDH municipal tem níveis maiores nas mesorregiões de Ribeirão Preto, Campinas, Piracicaba, Macrometropolitana Paulista e na RMSP.
- Indicadores de trânsito: os maiores valores do indicador IM, ficam em áreas pertencentes às mesorregiões de Campinas, Piracicaba, Araraquara, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto, e o indicador TRAM, que diz respeito à municipalização do trânsito, tem maiores concentrações nas mesorregiões de Itapetininga, Macrometropolitana Paulista, Campinas, Ribeirão Preto, Bauru e RMSP.

A seguir, terá seqüência as análises de estatística espacial.

7.5.2 Cálculo do Coeficiente de Correlação de *Pearson*

Para verificação de correlação entre as variáveis estudadas, foi calculado o coeficiente de correlação de *Pearson* que, segundo CRESPO (2004), é uma medida do grau de correlação linear entre duas variáveis quantitativas, com o intuito de detectar variáveis correlacionadas, para que as análises não se tornem redundantes. O coeficiente de correlação de *Pearson* varia entre os valores -1 e +1, sendo que o valor zero significa ausência de correlação linear. O valor +1 indica uma correlação linear perfeita, e o valor -1 indica uma correlação linear perfeita, porém inversa. A seguinte escala de correlação pode ser utilizada para auxílio no momento da análise (CRESPO, 2004):

- -1: correlação linear negativa perfeita;
- -0,95: correlação negativa forte;
- -0,50: correlação negativa moderada;
- -0,10: correlação negativa fraca;
- 0: ausência de correlação;
- 0,10: correlação positiva fraca;
- 0,50: correlação positiva moderada;

- 0,95: correlação positiva forte e;
- 1: correlação linear positiva perfeita.

O coeficiente de correlação de *Pearson* é dado por:

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (7.1)$$

Onde: r é o coeficiente de correlação
 x é o valor da primeira variável
 y é o valor da variável correspondente

No Quadro 7.7, encontra-se a matriz de correlação, com os resultados dos coeficientes de *Pearson*.

Quadro 7.7 – Matriz de correlação entre variáveis

	CREP	DENS	IDAP	NICE	URB	IDHM	IM	TRAM
CREP	-							
DENS	0,142	-						
IDAP	-0,609	-0,190	-					
NICE	0,243	0,210	0,172	-				
URB	-0,019	0,056	0,371	0,761	-			
IDHM	0,021	0,275	0,026	0,449	0,457	-		
IM	0,044	0,419	-0,077	0,172	0,126	0,379	-	
TRAM	0,261	0,246	-0,062	0,565	0,415	0,327	0,128	-

A partir dos valores apresentados no Quadro 7.6, é possível observar que vários pares de variáveis apresentam índices razoavelmente significativos de correlação, com valores acima de 0,40, indicando correlação moderada. As variáveis NICE e URB são as que têm maior correlação positiva, apresentando coeficiente de 0,76, indicando correlação de moderada para forte. Para não ocorrer resultados semelhantes, a variável NICE não será utilizada nas próximas análises.

7.5.3 Cálculo do Índice Global de *Moran*

Nesta etapa do trabalho, foi calculado o índice Global de *Moran* para início da análise e verificação da existência de autocorrelação espacial para os indicadores estudados. No Quadro 7.8, estão dispostos os resultados obtidos de todas as variáveis no cálculo do Índice Global de *Moran*.

Quadro 7.8 – Índice Global de *Moran* dos indicadores

Variáveis	Índice Global de Moran
CREP	0,46
DENS	0,53
IDAP	0,54
URB	0,34
IDHM	0,39
IM	0,34
TRAM	0,30

Analisando o Quadro 7.8, é possível observar que todos os resultados obtidos são positivos, indicando autocorrelação espacial positiva. Quanto mais baixos os valores do índice de autocorrelação espacial, mais dispersas estão as variáveis, portanto menor o agrupamento e maior a dificuldade de analisar o comportamento (KREMPI, 2004). O maior índice foi obtido para a variável IDAP, que representa a idade média da população de cada município (0,54). O valor mais baixo é da variável TRAM com índice de 0,30.

7.5.3.1 Diagrama de Espalhamento de Moran

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos no cálculo do Índice Global de *Moran*, foi utilizado o diagrama de espalhamento de *Moran*, gráfico que representa no eixo das abscissas as observações da variável normalizada e no eixo das coordenadas, a média espacial da variável.

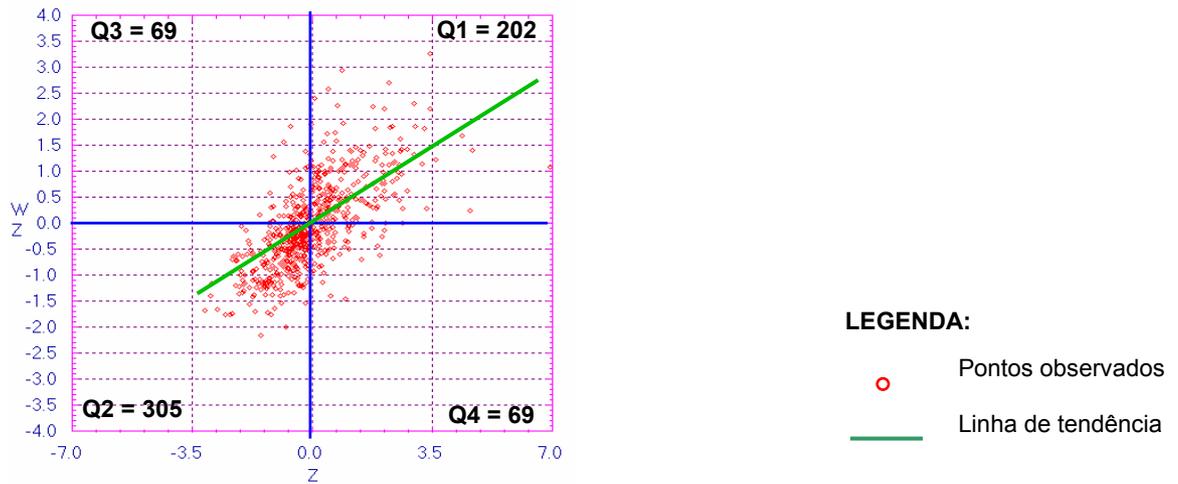


Figura 7.63 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável CREP

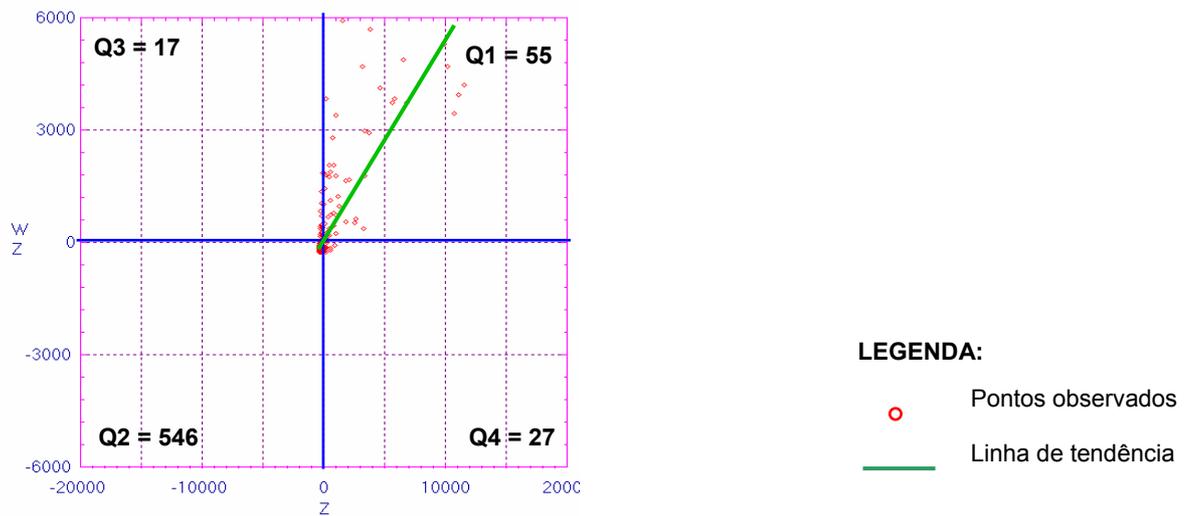


Figura 7.64 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável DENS

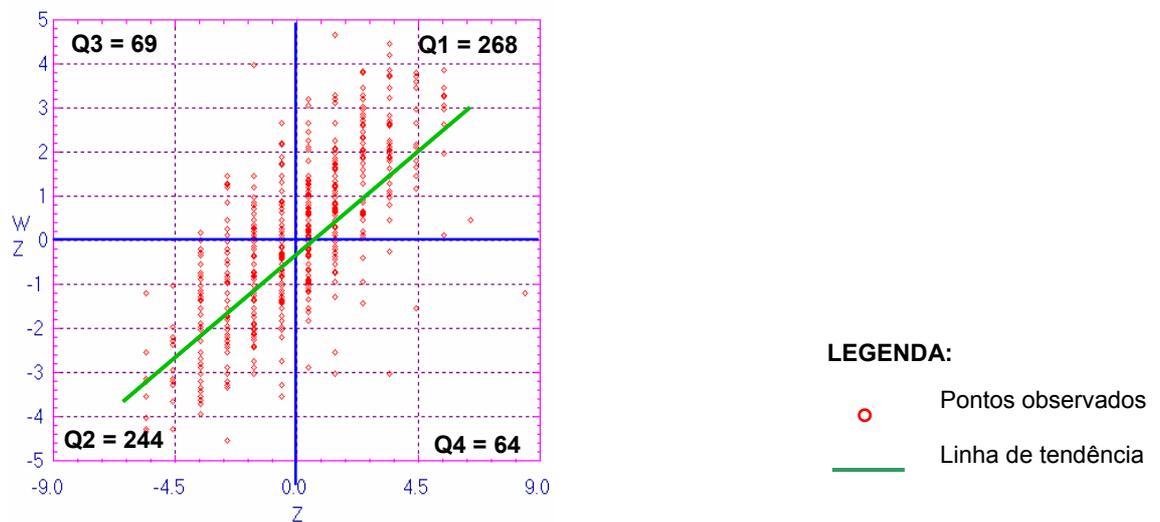


Figura 7.65 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável IDAP

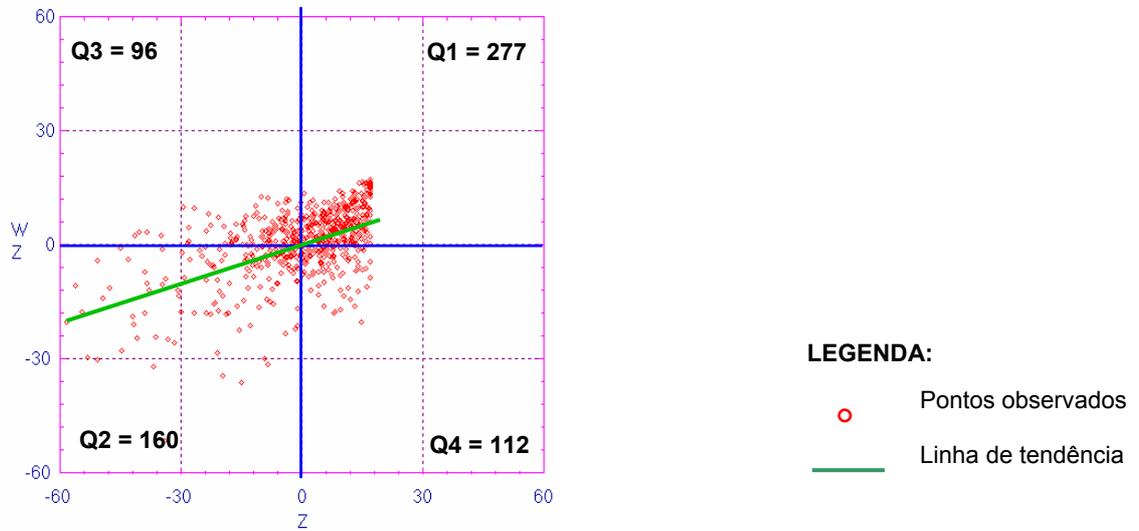


Figura 7.66 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável URB

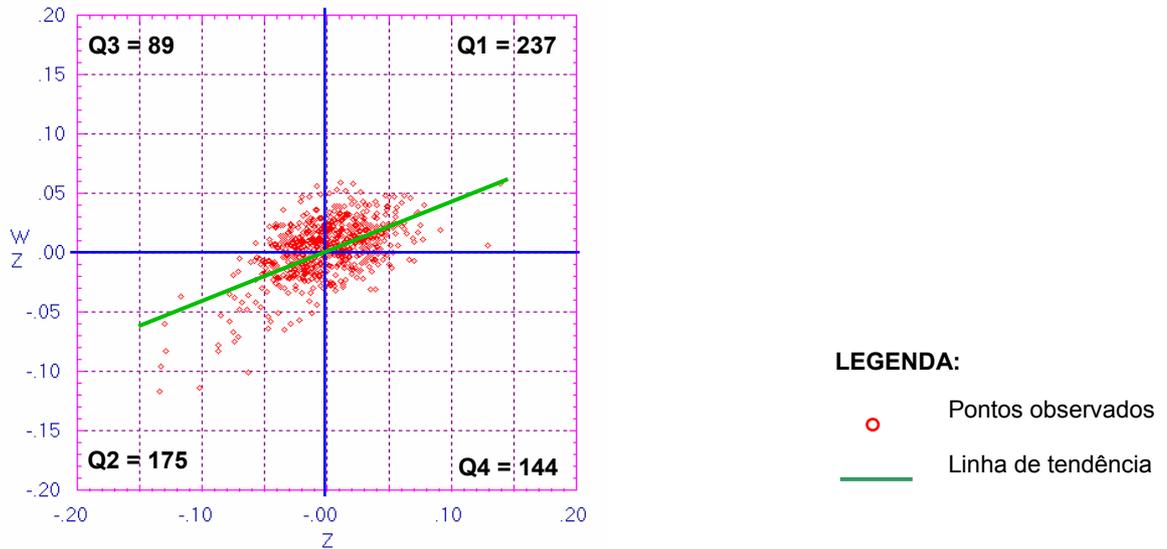


Figura 7.67 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável IDHM

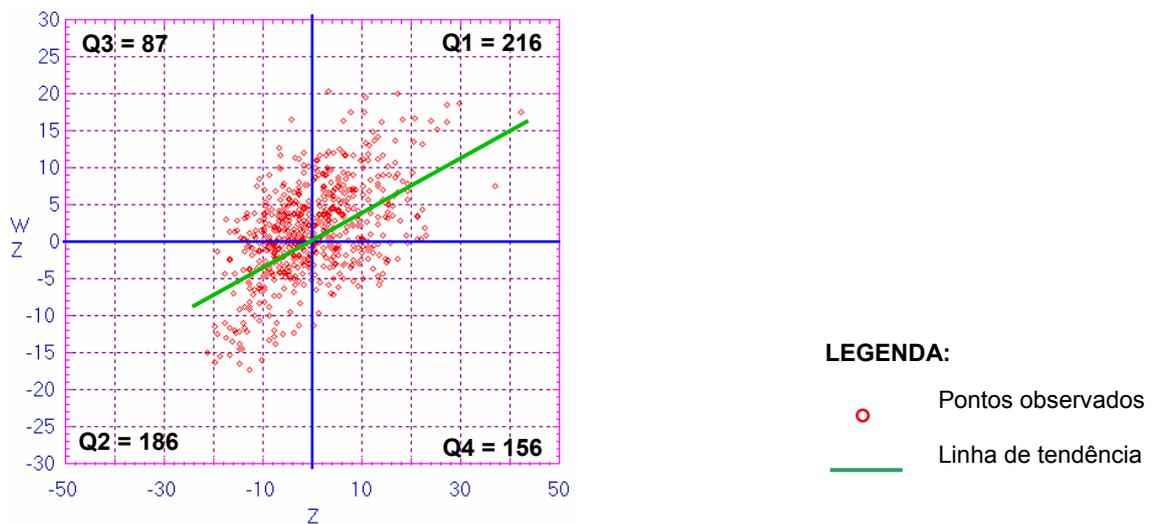


Figura 7.68 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável IM

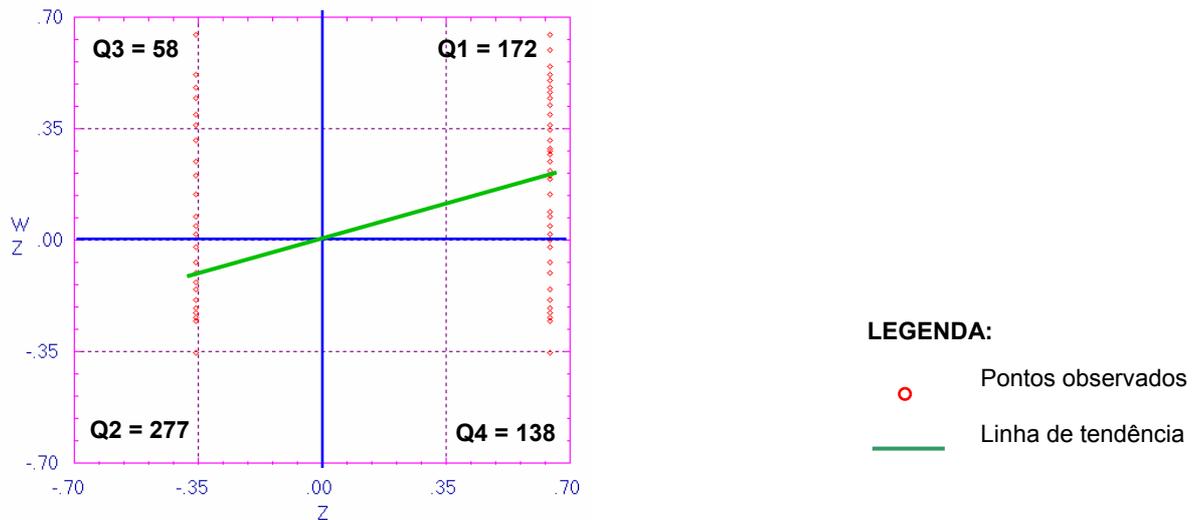


Figura 7.69 – Diagrama de espalhamento de Moran da variável TRAM

Em todas as variáveis estudadas existe uma grande concentração de pontos localizados nos quadrantes Q1 e Q2, indicando a existência de muitas regiões onde o valor do atributo medido assemelha-se aos valores médios de seus vizinhos. No caso da variável DENS, 93% das áreas analisadas pertencem aos quadrantes Q1 e Q2. As demais variáveis têm percentuais que variam entre 62% e 79% (QUADRO 7.9).

Quadro 7.9 – Pontos localizados nos quadrantes Q1 e Q2 (em %)

	CREP	DENS	IDAP	URB	IDHM	IM	TRAM
Quadrante Q1 – Q2	79	93	79	68	64	62	70

Estes resultados podem ser observados no *Box Map* (Figuras 7.70 a 7.76), onde cada área está associada ao quadrante a que pertence no diagrama de espalhamento de Moran.

7.5.3.2 Box Map

As Figuras 7.70 a 7.76 mostram os *box maps* das variáveis que estão sendo estudadas.

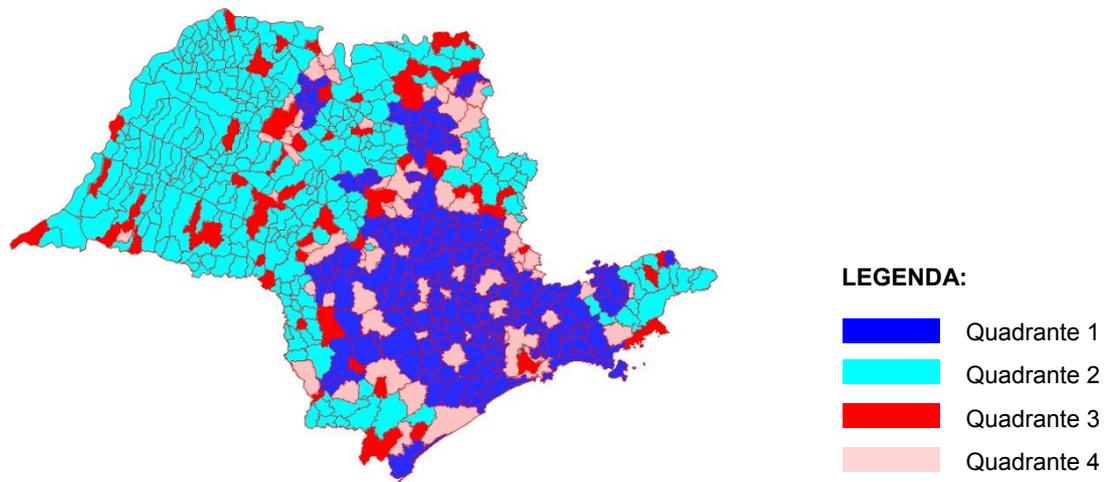


Figura 7.70 – Box Map da variável CREP

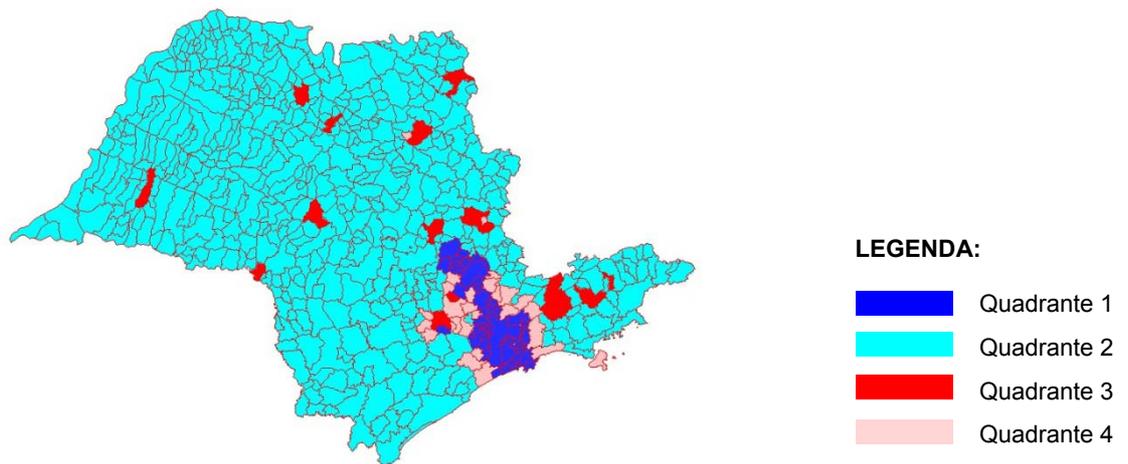


Figura 7.71 – Box Map da variável DENS

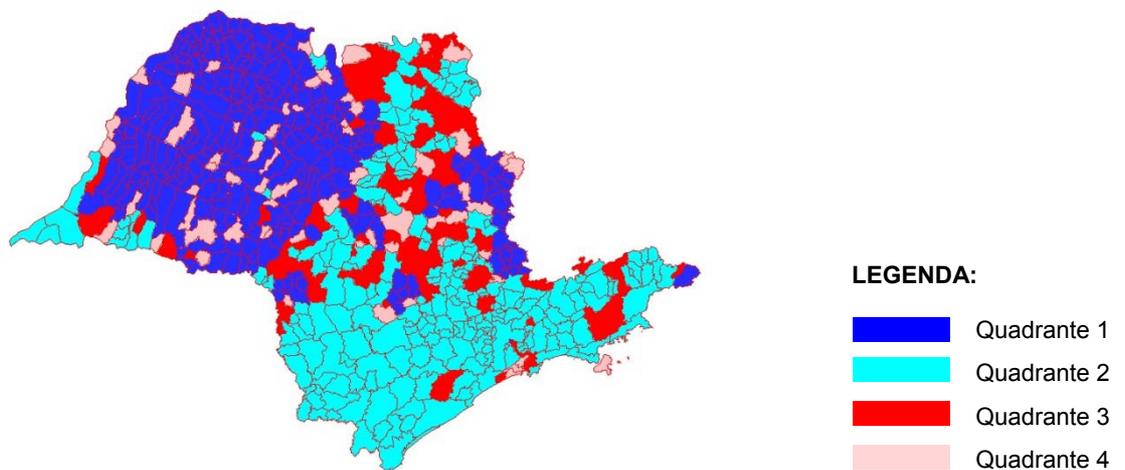


Figura 7.72 – Box Map da variável IDAP

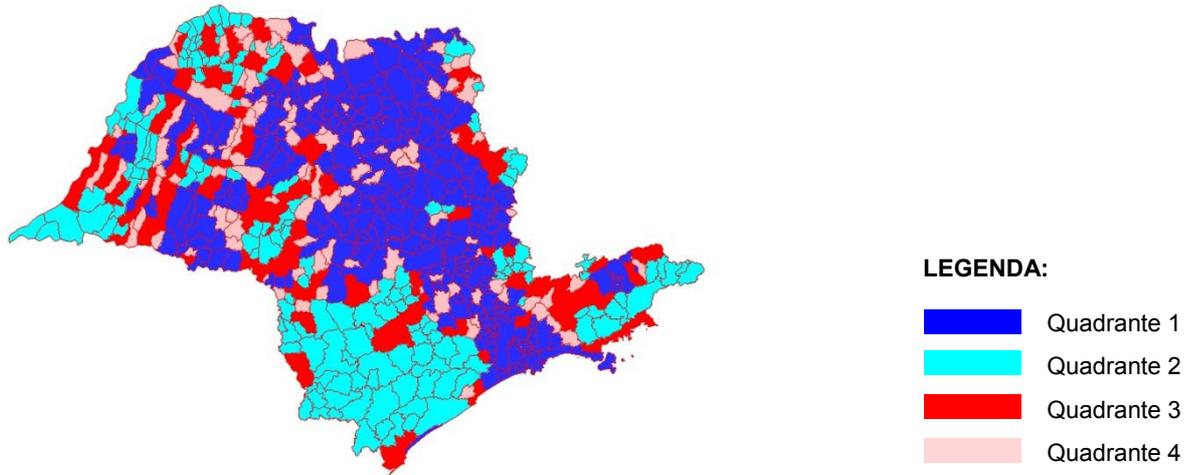


Figura 7.73 – Box Map da variável URB

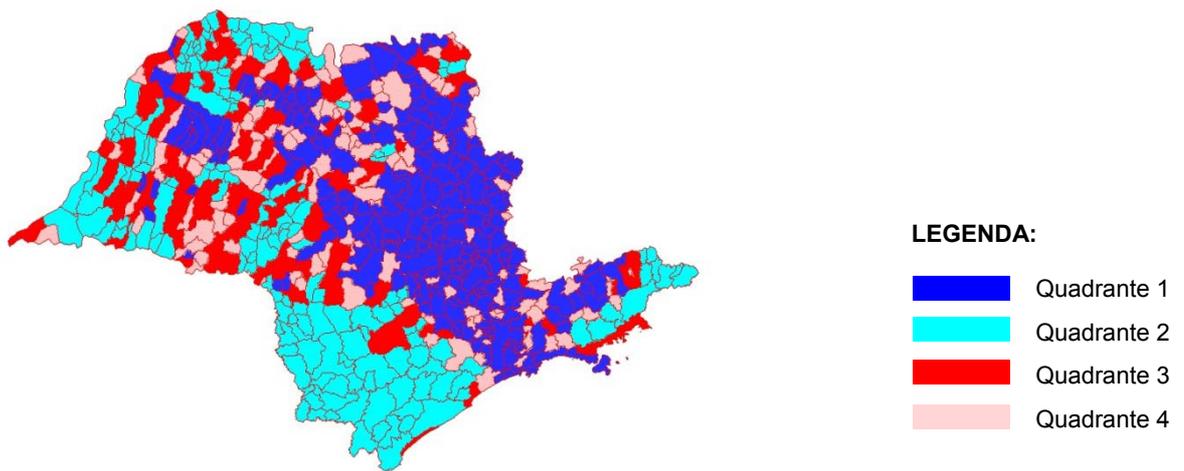


Figura 7.74 – Box Map da variável IDHM

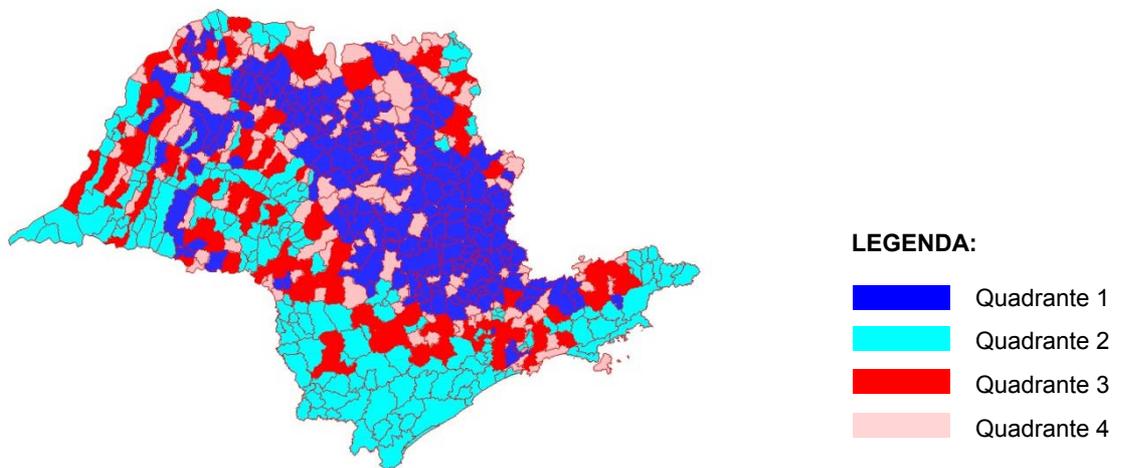


Figura 7.75 – Box Map da variável IM

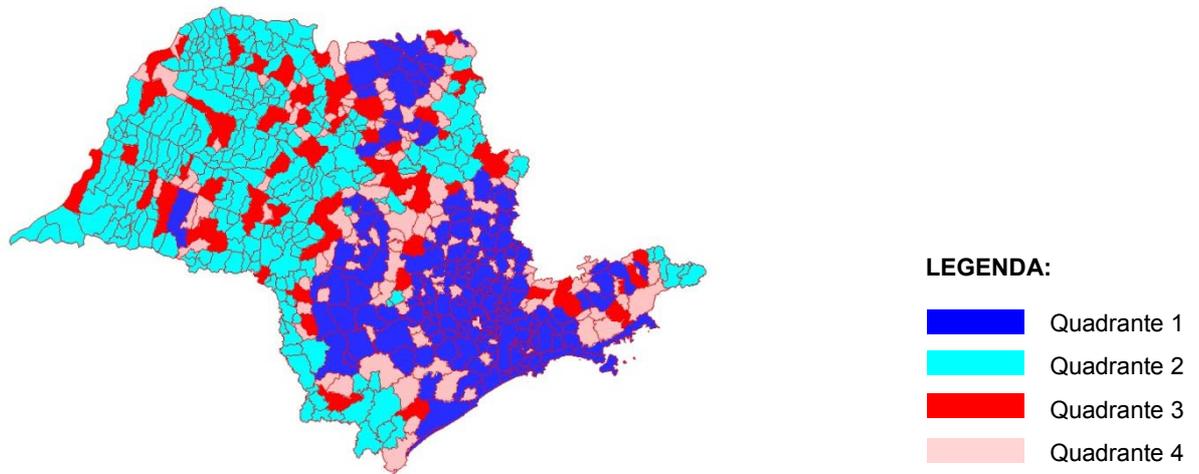


Figura 7.76 – Box Map da variável TRAM

Após a representação nos *boxs maps* das áreas pertencentes aos quadrantes Q1 e Q2 indicando a associação espacial positiva de cada variável, a próxima etapa é a realização do cálculo do Índice Local de Moran e a aplicação de suas ferramentas: *Lisa Map* e *Moran Map*.

7.5.4 Cálculo do Índice Local de Moran

Os indicadores locais de associação espacial produzem um valor específico para cada área, permitindo assim a identificação de padrões de associação espacial significativos e locais de autocorrelação mais pronunciada.

7.5.4.1 Lisa Map

As Figuras 7.77 a 7.83 representam os *Lisa Map* de cada variável, sendo os resultados classificados da seguinte forma: não significantes (valor zero na legenda), com significância de 95% (valor um na legenda), com significância de 99% (valor dois na legenda) e 99,9% (valor três na legenda).

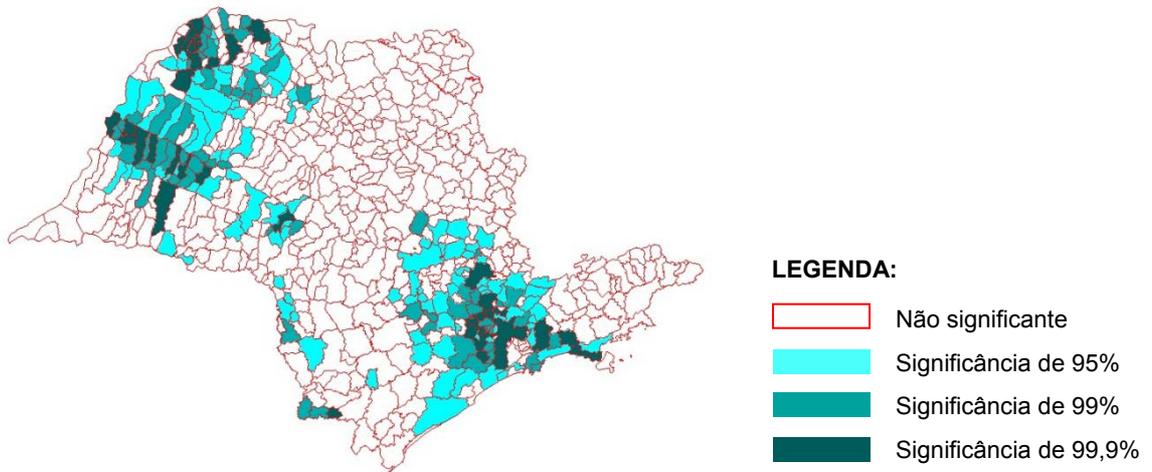


Figura 7.77 – Lisa Map da variável CREP

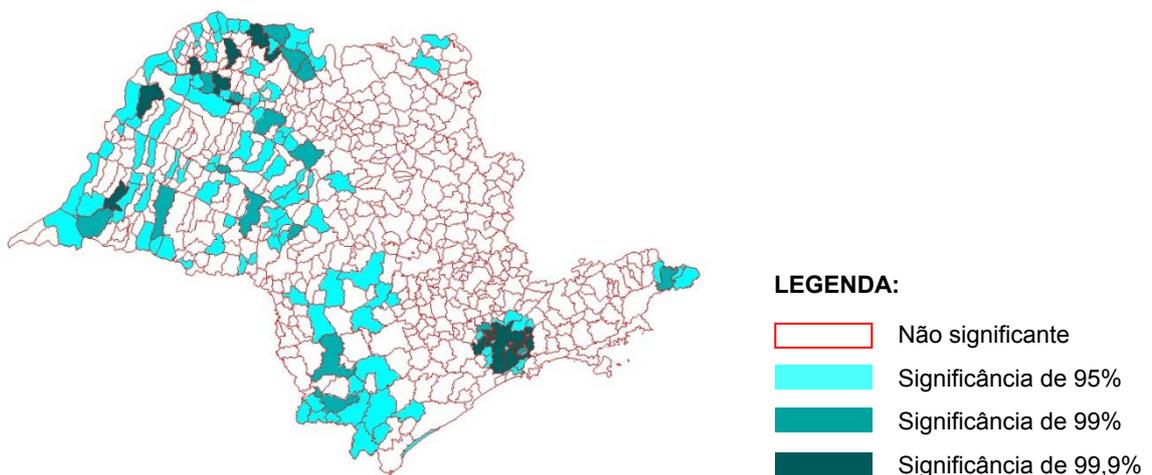


Figura 7.78 – Lisa Map da variável DENS

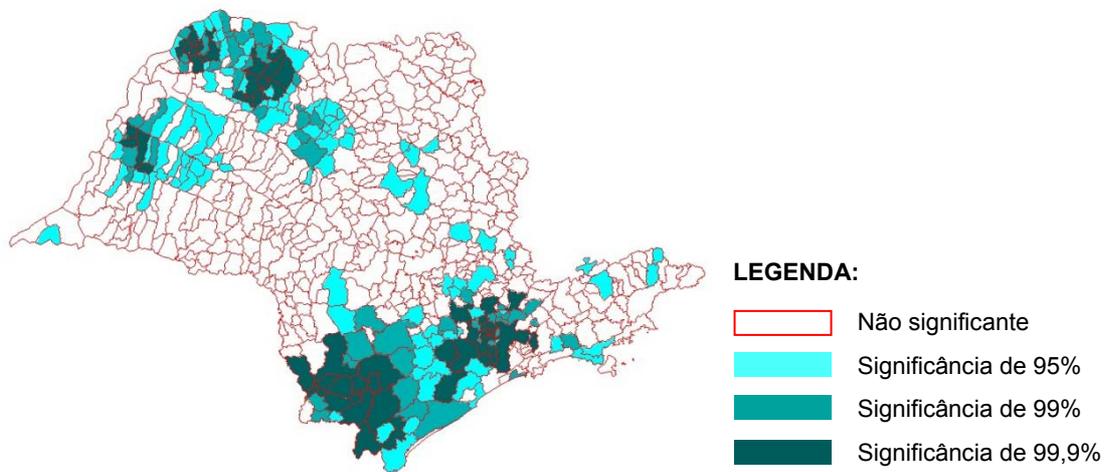


Figura 7.79 – Lisa Map da variável IDAP

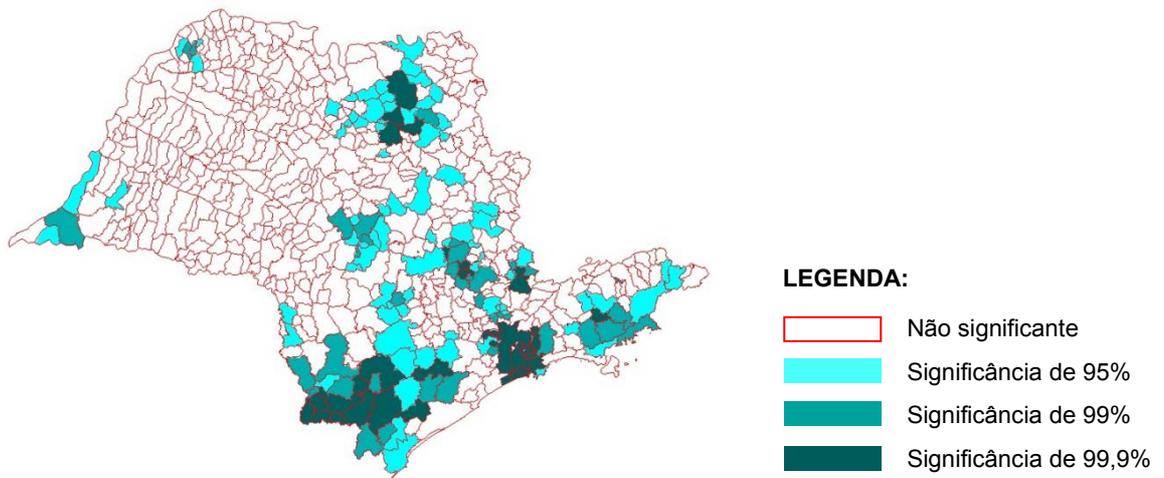


Figura 7.80 – Lisa Map da variável URB

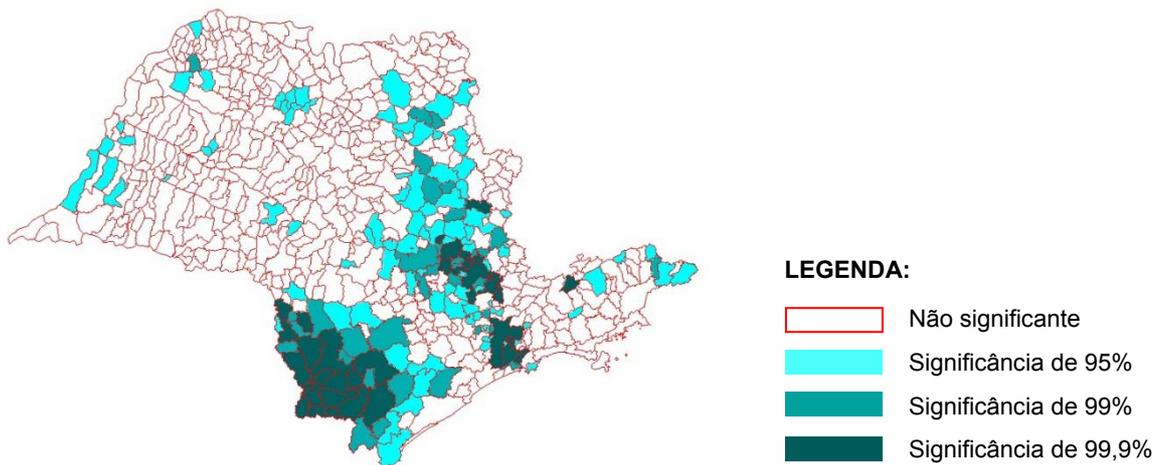


Figura 7.81 – Lisa Map da variável IDHM

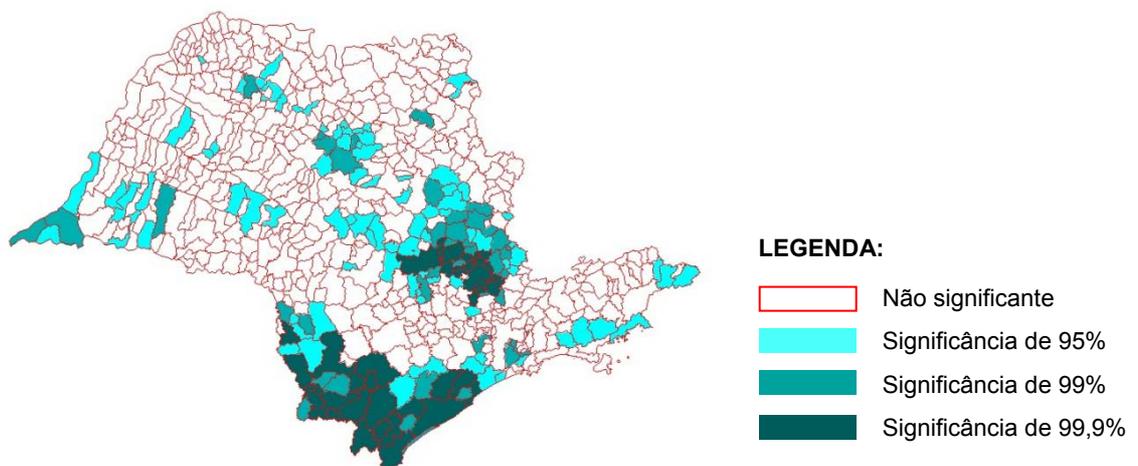


Figura 7.82 – Lisa Map da variável IM

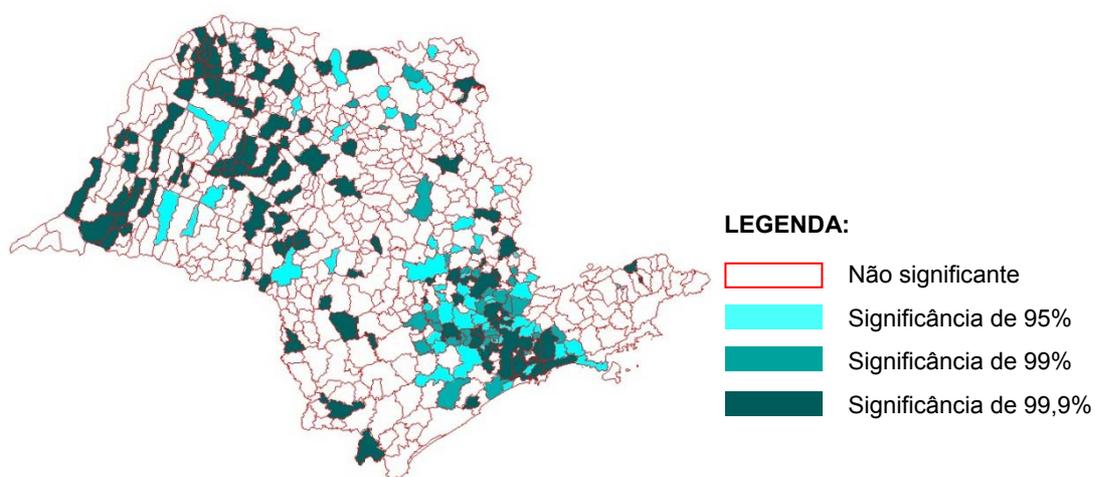


Figura 7.83 – Lisa Map da variável TRAM

O *Lisa Map* foi construído para todas as variáveis que estão sendo estudadas nesta etapa do trabalho. Os resultados apresentam semelhança em todas as variáveis, quanto à significância das áreas. O comportamento médio das variáveis se deu da seguinte forma:

- 73,9% das áreas (cerca de 477 municípios) não apresentaram significância estatística relacionada à autocorrelação espacial;
- 12,5% das áreas (cerca de 80 municípios paulistas) apresentaram significância de 95%;
- 5,8% (cerca de 37 municípios) apresentaram significância de 99%; e
- 7,8% das áreas (cerca de 50 municípios) apresentaram significância de 99,9%.

Estes resultados são apresentados em números percentuais de áreas para cada variável estudada no Quadro 7.10.

Quadro 7.10 – Resultados dos Lisa Map (%)

VARIÁVEL	SIGNIFICÂNCIA			
	0	95%	99%	99,9%
CREP	67	17	10	6
DENS	76	15	4	3
IDAP	66	15	9	10
URB	75	12	6	7
IDHM	75	13	6	6
IM	74	13	6	7
TRAM	69	9	5	17

Como complemento da análise, é apresentado um gráfico (FIGURA 7.84) onde são comparados os resultados do *Lisa Map*.



Figura 7.84 – Gráfico comparativo dos resultados dos *Lisa Map*

7.5.4.2 Moran Map

Na seqüência, são apresentados os mapas denominados *Moran Map*, que, como explanado anteriormente, analisa somente os valores significantes obtidos do *Lisa Map*, agrupados conforme os quadrantes a que pertencem. Na legenda constam as áreas com valores não significantes, as áreas consideradas de transição e as áreas pertencentes aos quadrantes Q1 e Q2 de cada variável estudada.

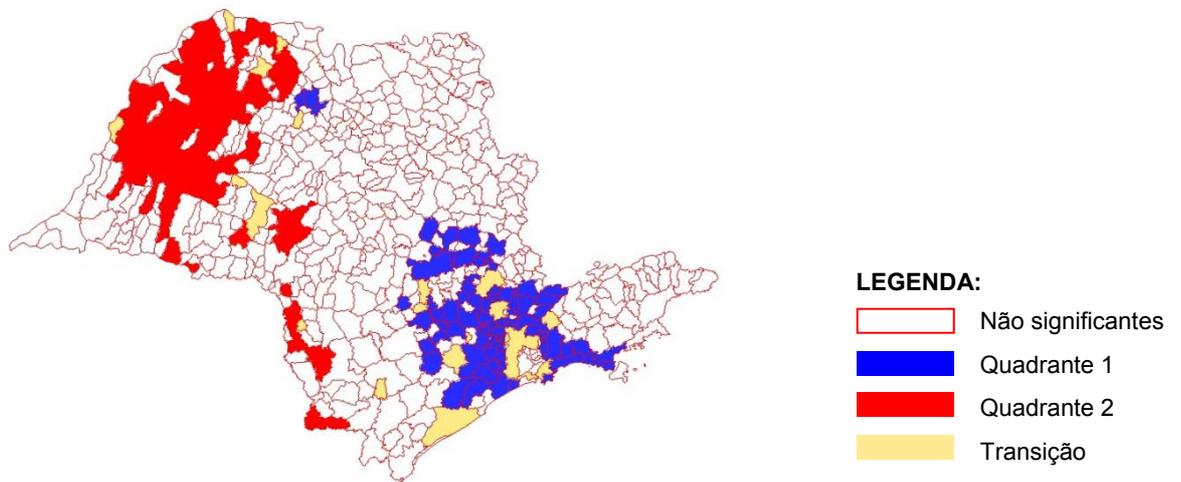


Figura 7.85 – Moran Map da variável CREP

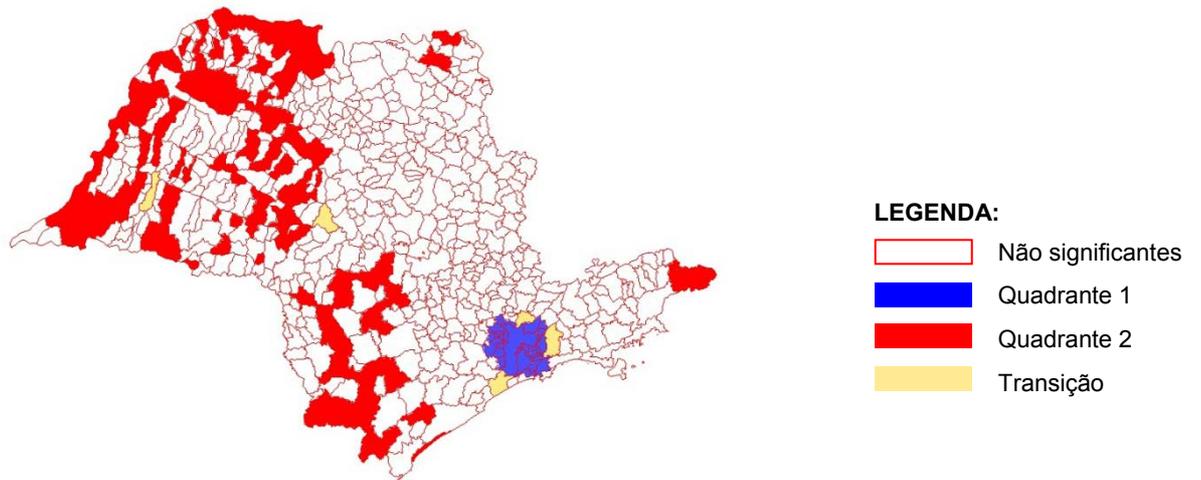


Figura 7.86 – Moran Map da variável DENS

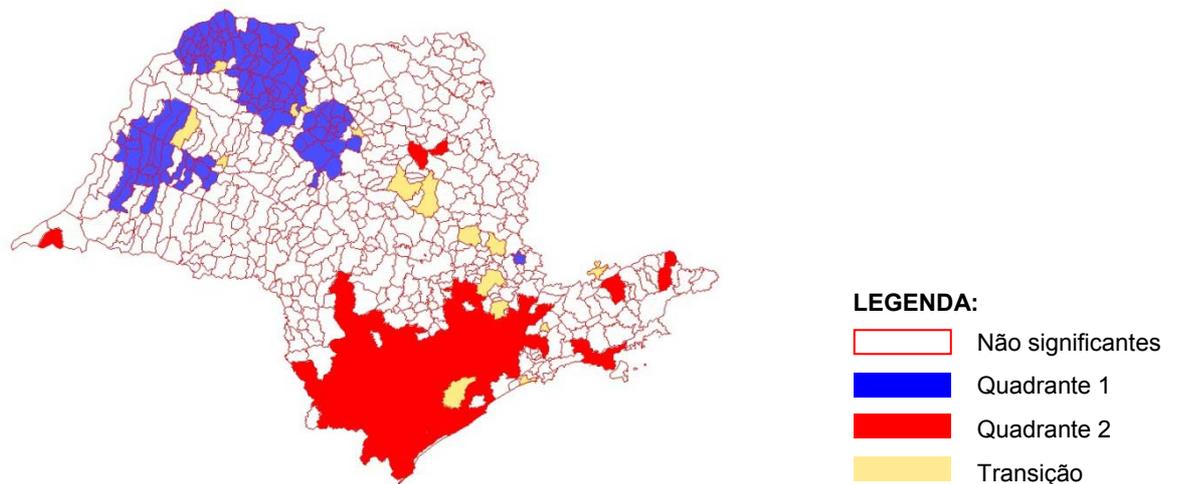


Figura 7.87 – Moran Map da variável IDAP

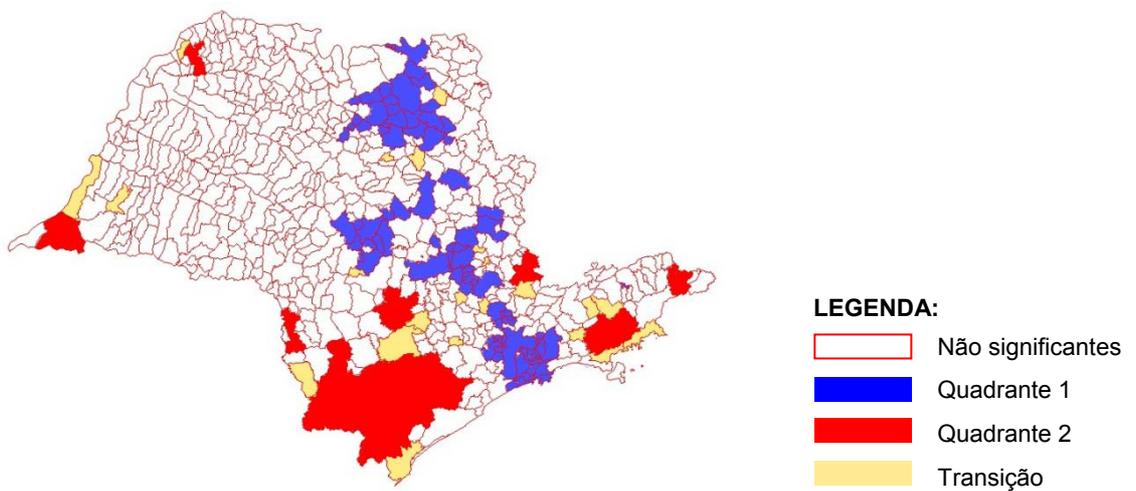


Figura 7.88 – Moran Map da variável URB

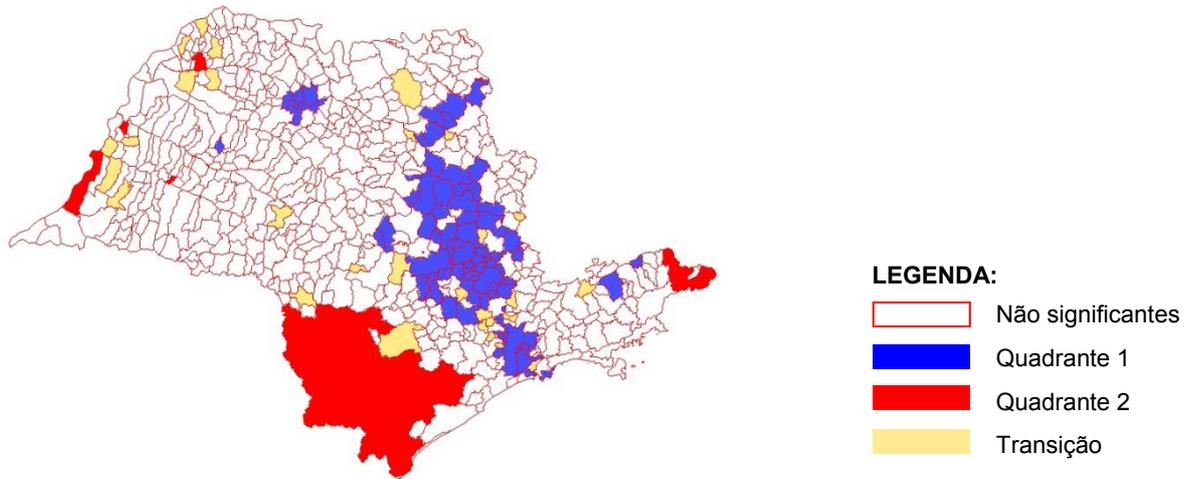


Figura 7.89 – Moran Map da variável IDHM

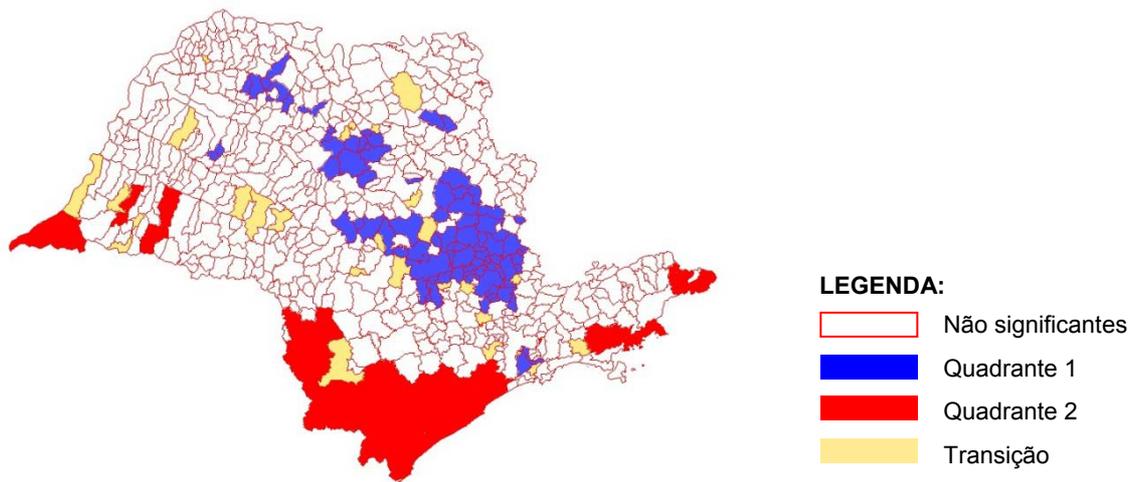


Figura 7.90 – Moran Map da variável IM

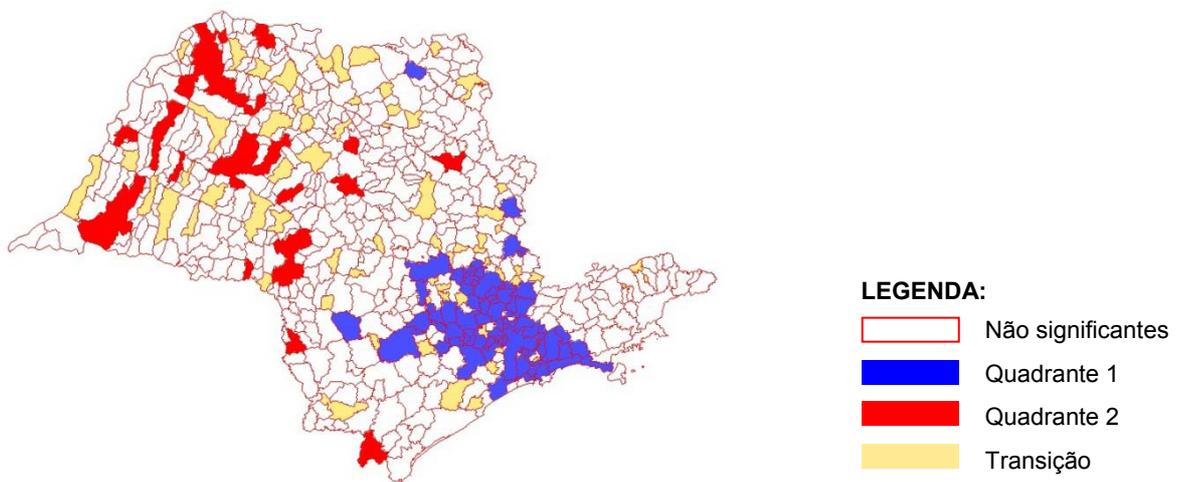


Figura 7.91 – Moran Map da variável TRAM

Os resultados obtidos nesta etapa do trabalho revelam a existência de agrupamentos de áreas com autocorrelação espacial positiva para as sete variáveis analisadas. No caso da variável CREP, existem dois grandes agrupamentos de *clusters*, o primeiro situado nas regiões oeste e noroeste do estado, onde estão concentradas as menores taxas de crescimento anual da população e o segundo no entorno da RMSP, seguindo para a Macrometropolitana Paulista e para a mesorregião de Campinas, com as maiores taxas de crescimento populacional.

Em relação à variável DENS, os *clusters* estão menos concentrados, existindo um agrupamento bem definido na RMSP, exatamente onde se encontram os municípios com densidade demográfica elevada. A variável IDAP apresenta, basicamente, dois agrupamentos de *clusters*, sendo o primeiro nas regiões oeste e noroeste do estado (áreas com valores de idade média da população mais altos) e, o segundo, em partes das regiões sul, sudoeste e sudeste do estado (áreas com valores de idade média da população menores).

A variável URB apresenta diversos agrupamentos de *clusters*, sendo um deles bem definido e pertencente às mesorregiões do Litoral Sul Paulista e de Itapetininga. São áreas que apresentam as menores taxas de urbanização do estado. A variável seguinte, o IDHM, apresenta comportamento semelhante à variável URB, porém com dois agrupamentos distintos, o primeiro nas regiões sul e sudoeste do estado, onde estão os municípios com níveis mais baixos de desenvolvimento humano e o segundo, regiões sudeste e nordeste do estado, com municípios que têm altos níveis de desenvolvimento humano.

As duas variáveis restantes, as que se referem ao trânsito dos municípios, têm comportamentos distintos. A variável IM apresenta dois agrupamentos de *clusters*, um na região sul e parte da região sudeste (com índices baixos de motorização) e outro nas regiões sudeste e centro-oeste (com altos índices de motorização). Quanto à variável TRAM, que diz respeito ao “trânsito municipalizado” do município, existe um agrupamento que está inserido nas região sudeste e parte da região centro-este do estado de São Paulo, onde estão concentrados os municípios de trânsito municipalizado.

No próximo capítulo, os resultados aqui apresentados, serão combinados com os resultados da variável TMA, para verificação de correlação espacial desta variável com as demais analisadas.

CAPÍTULO 8

RESULTADOS

Este capítulo tem por finalidade analisar os resultados obtidos na aplicação das ferramentas de análise e estatística espacial e finalmente verificar os propósitos estabelecidos nos objetivos específicos, descritos no capítulo 1 deste trabalho.

Nas etapas anteriores, foram analisados a variável *TMA* e os indicadores de *população*, de *urbanização*, de *desenvolvimento humano* e de *trânsito*. Em ambos os casos, foram identificadas, a partir do índice global de *Moran*, as áreas com significância estatística superior a 95% e pertencentes aos quadrantes Q1 e Q2 (áreas com autocorrelação espacial positiva). Os resultados referentes aos indicadores citados foram combinados com o resultado da variável *TMA*, obtendo-se o resultado a seguir (QUADRO 7.11):

Quadro 8.1 – Combinações das áreas de autocorrelação positiva entre a TMA e indicadores

Variáveis	Sobreposição de <i>Clusters</i> (n° de áreas)	Sobreposição de <i>Clusters</i> (% de áreas)
CREP	50 áreas	43 %
DENS	49 áreas	42 %
IDAP	60 áreas	51 %
URB	17 áreas	15 %
IDHM	14 áreas	12 %
IM	20 áreas	17 %
TRAM	34 áreas	29 %

A correlação da *TMA* com as demais variáveis tem características distintas, conforme o indicador em questão. As que mais apresentam correlação espacial, são as que se referem à idade média da população, ao crescimento e à densidade populacional, com áreas de sobreposição de clusters de 51%, 43% e 42% respectivamente. Esses valores podem ser melhores compreendidos visualizando-se as Figuras 8.1 a 8.7, que trazem todas as combinações citadas.

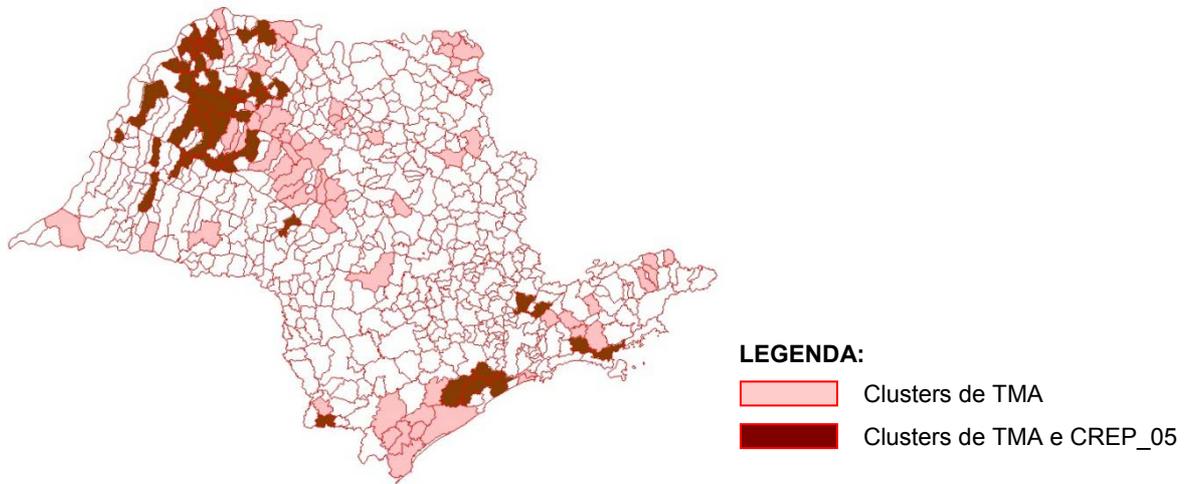


Figura 8.1 – Combinação de *clusters* das variáveis TMA e CREP

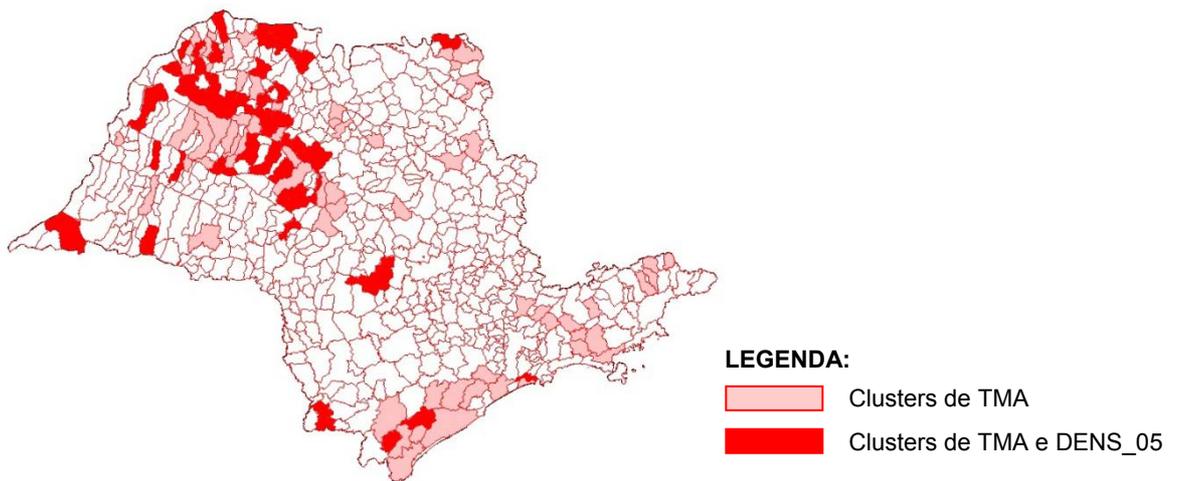


Figura 8.2 – Combinação de *clusters* das variáveis TMA e DENS

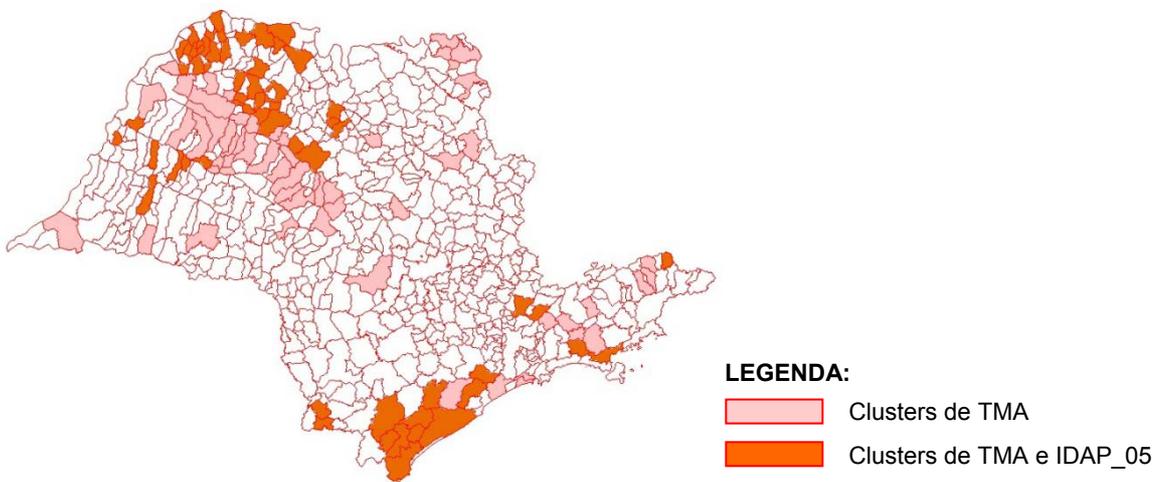


Figura 8.3 – Combinação de *clusters* das variáveis TMA e IDAP

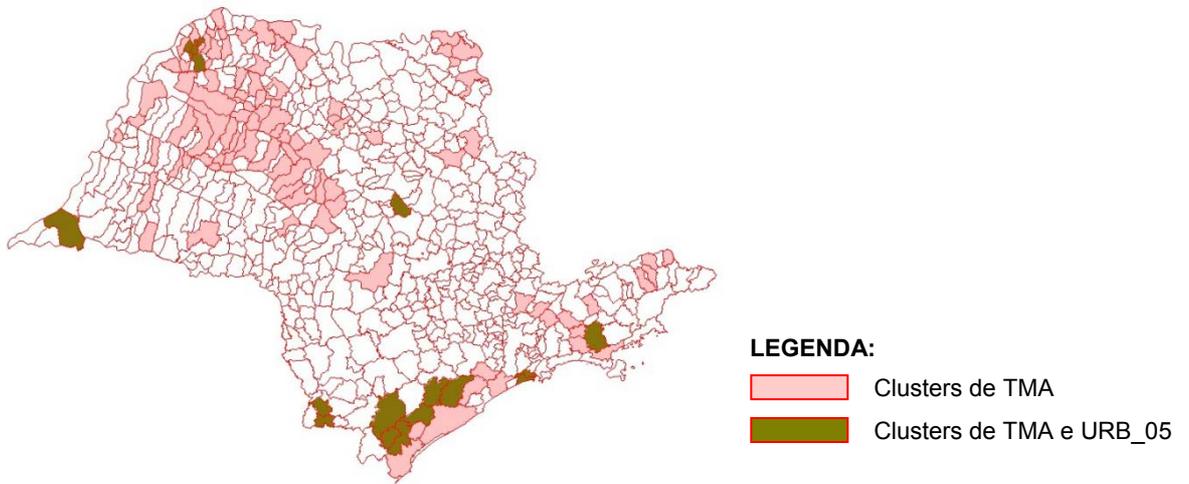


Figura 8.4 – Combinação de *clusters* das variáveis TMA e URB

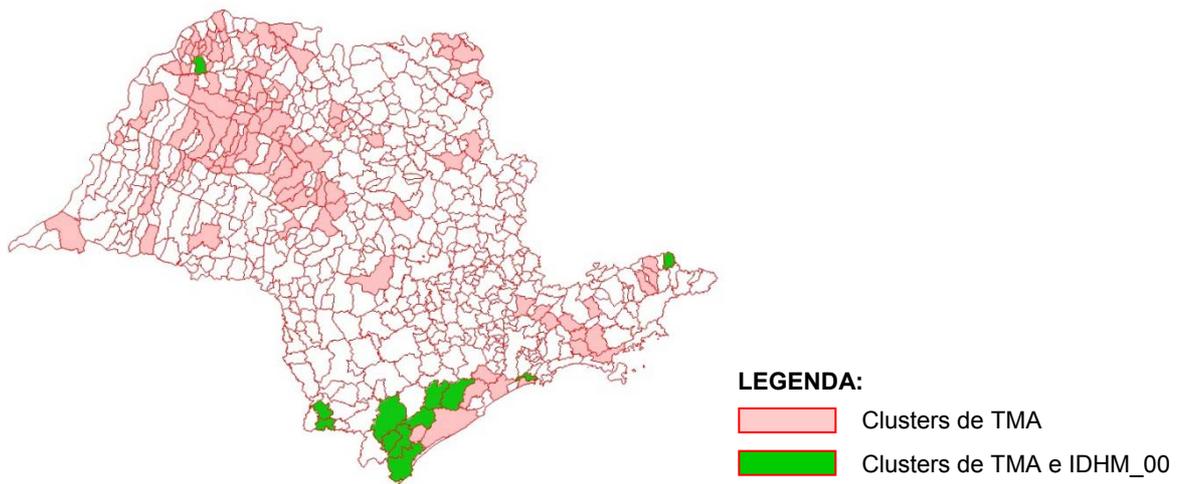


Figura 8.5 – Combinação de *clusters* das variáveis TMA e IDHM

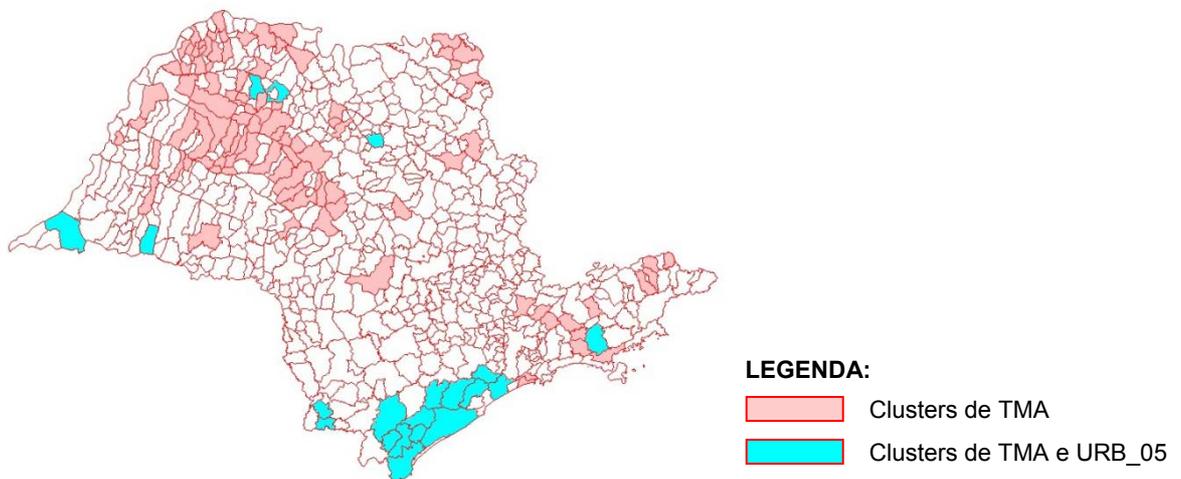


Figura 8.6 – Combinação de *clusters* das variáveis TMA e IM

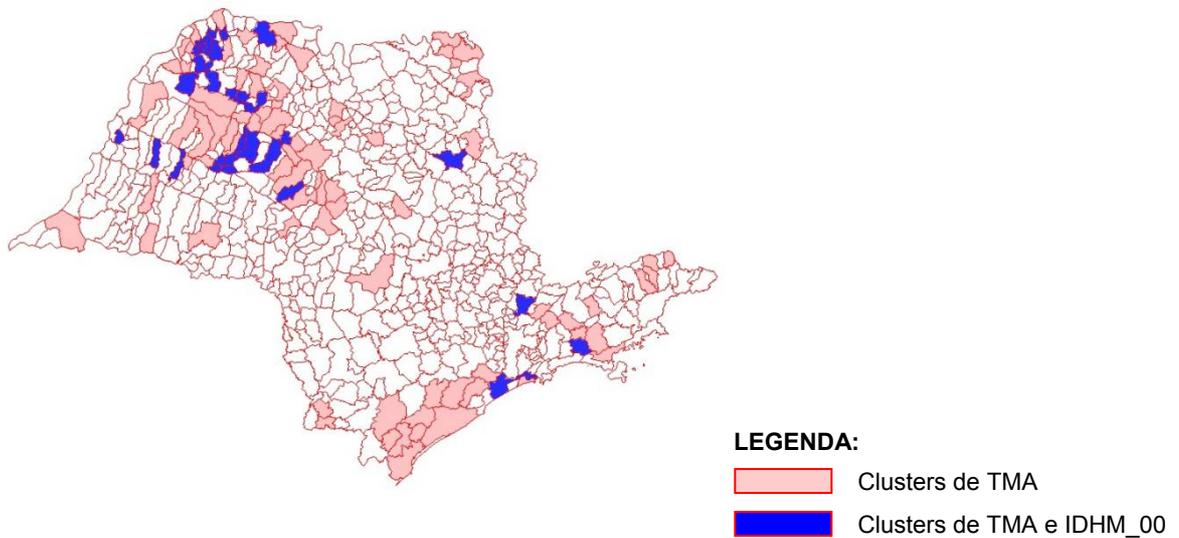


Figura 8.7 – Combinação de *clusters* das variáveis TMA e TRAM

Até esta fase da pesquisa, todas as ferramentas de análise e estatística espaciais propostas, com a finalidade de detectar dependência espacial das áreas observadas e localizar agrupamentos em que essa dependência espacial fosse mais pronunciada, foram utilizadas. Estas análises foram realizadas, primeiramente, para verificar a autocorrelação espacial das taxas de mortalidade por atropelamento e, em segundo lugar, para verificar a correlação espacial que os indicadores de aspecto populacional, de urbanização, de desenvolvimento humano e de trânsito guardam com a TMA.

Relembrando, os índices globais de *Moran* das TMAs obtiveram valores entre 0,02 e 0,15, indicando, praticamente, ausência de autocorrelação espacial. Posteriormente, foram aplicadas as ferramentas relacionadas aos índices locais de *Moran*, sendo possível, desta maneira, detectar regiões com diferentes regimes de associação espacial, onde a dependência espacial se mostrou mais acentuada. Pôde-se observar na Figura 7.54, após a aplicação do *Lisa Map* e do *Moran Map*, que o estado de São Paulo tem três agrupamentos de *clusters*. O primeiro, localização nas regiões centro-oeste e noroeste do estado, com taxas mais baixas de mortalidade por atropelamento; o segundo,

na região sudeste; e o terceiro, na região sul. Os dois últimos, em regiões de mortalidade por atropelamento elevada. Estes agrupamentos serão, portanto, analisados separadamente.

Esta mesma metodologia foi aplicada para os indicadores de *aspecto populacional*, de *urbanização*, de *desenvolvimento humano* e de *trânsito*, que tiveram como resultados dos cálculos do índice global de *Moran*, valores que variaram entre 0,30 e 0,54, indicando presença de autocorrelação espacial para todas as variáveis. Após o cálculo do índice local de *Moran* e aplicação de suas ferramentas, também foram identificados os agrupamentos de autocorrelação espacial positivas com significância superior a 95%, demonstrados nas figuras 7.85 a 7.91. Após a realização das fases iniciais do trabalho, foram feitas combinações entre os *clusters* da variável TMA e os *clusters* dos outros indicadores, para verificar a existência de correlação espacial entre as variáveis.

No primeiro caso de combinação de *clusters*, as variáveis TMA e CREP apresentam forte correlação na região noroeste do estado e correlação fraca nas regiões sul e sudeste. Na combinação TMA e DENS, a correlação espacial é evidente nas regiões centro-oeste e noroeste do estado. Para a combinação TMA e IDAP, a correlação apresenta-se moderada na região noroeste e forte no sul. Nas combinações TMA e URB e TMA e IDHM, há correlação de moderada para forte no sul do estado. Com a variável IM existe correlação perfeita no sul do estado e, finalmente, na combinação entre TMA e TRAM, praticamente não há correlação, apenas uma correlação fraca no noroeste do estado. Considerando as correlações moderadas, fortes e perfeitas, foi elaborado um quadro para compreensão das correlações (QUADRO 8.2).

Nas células em destaque do Quadro 8.2, estão demonstradas as ocorrências de correlação espacial mais acentuadas, pertencentes aos agrupamentos 1 e 3 das áreas de autocorrelação espacial positiva, para a variável TMA (Figura 7.54). Estas correlações estão representadas nas Figuras 8.8 e 8.9.

Quadro 8.2 – Correlação espacial entre a TMA e indicadores

	TAXA DE MORTALIDADE POR ATROPELAMENTO		
	AGRUPAMENTO 1 (centro-oeste e noroeste)	AGRUPAMENTO 2 (sudeste)	AGRUPAMENTO 3 (sul)
CREP	baixa mortalidade baixa taxa de crescimento populacional		
DENS	baixa mortalidade municípios menos adensados		
IDAP	baixa mortalidade idade média da população mais elevada		alta mortalidade idade média da população mais baixa
URB			alta mortalidade municípios menos urbanizados
IDHM			alta mortalidade níveis de desenvolvimento humano baixo
IM			alta mortalidade baixo índice de motorização

O **agrupamento 1** (centro-oeste e noroeste do estado) pertence à mesorregião de Araçatuba, e ocupa partes das mesorregiões de São José do Rio Preto e Bauru. Apresenta índices médios de mortalidade por atropelamento (para o período de 10 anos) de 3,4 óbitos a cada 100 mil habitantes, valor abaixo da média do Estado de São Paulo, que é de 9 óbitos a cada 100 mil habitantes e também abaixo da média brasileira – 5,6 óbitos por 100 mil habitantes. Inserido no agrupamento está o município de Araçatuba, que é sede de região administrativa do estado e polariza dezenas de municípios de seu entorno e forma, juntamente com Birigüi, aglomeração urbana com mais de 247 mil habitantes. A aglomeração urbana de Araçatuba e seu entorno são conhecidos, sobretudo, por ter-se voltado para a atividade pecuária, resultando daí uma ocupação esparsa do território (IPEA, 2001). Nas análises efetuadas, foi constatada correlação direta entre a taxa de mortalidade por atropelamento e a baixa densidade demográfica dos municípios envolvidos.

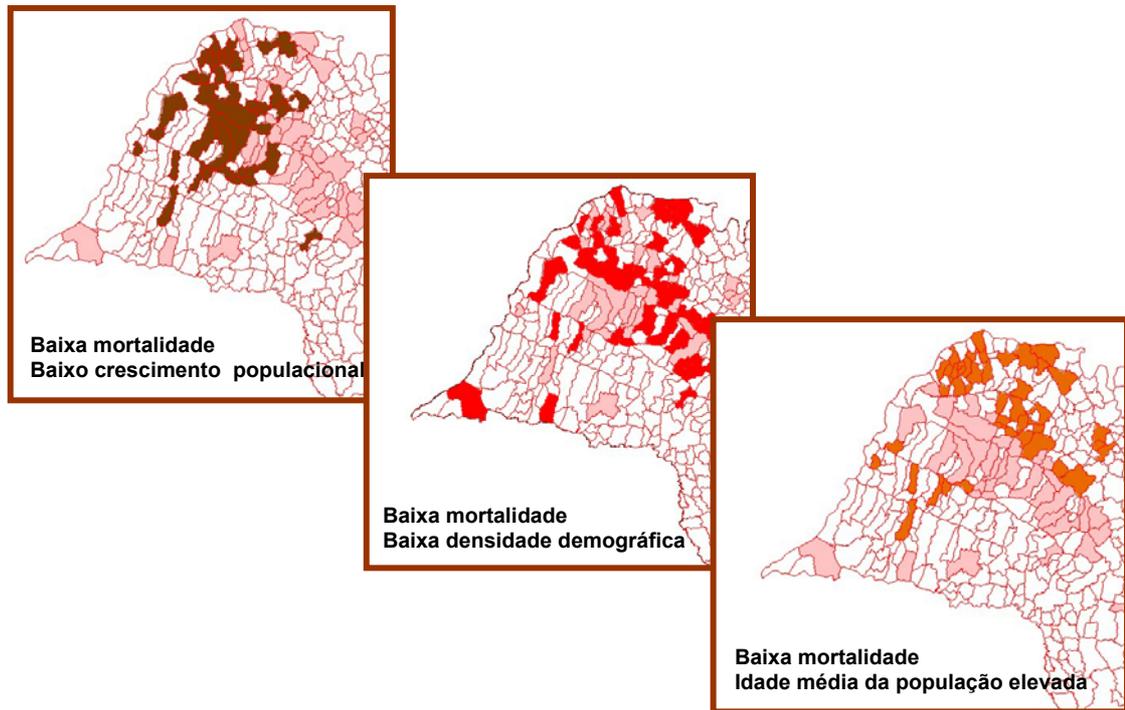


Figura 8.8 – Correlação espacial do agrupamento 1

Foi verificada, também, correlação espacial direta entre a taxa de mortalidade por atropelamento e a taxa geométrica de crescimento anual da população, que em ambos os casos, apresentam-se baixas nesta região do estado. No período de 1980 a 1996, Araçatuba apresentou aumento de população em termos absolutos, mas perdeu participação relativa na população estadual (IPEA, 2001). Finalmente, em relação às características da idade média da população, os municípios do agrupamento 1 têm idade média da população superior às outras regiões do estado, ocorrendo neste caso, uma correlação espacial inversa, ou seja, enquanto a taxa de mortalidade por atropelamento tem valor baixo, a idade média da população da região tem valor mais alto que outras áreas do estado.

O **agrupamento 3** mantém correlação espacial com as variáveis IDAP, URB, IDHM e IM (Figura 8.9). São municípios que apresentam índices médios de mortalidade por atropelamento de 11,7 óbitos a cada 100 mil habitantes, acima da média brasileira e acima da média paulista. Têm como características a idade média da população mais baixa que outras regiões do estado, são municípios que têm grau de urbanização médio

de 75%, ou seja, três quartos da população da região residem em áreas urbanas, com nível de desenvolvimento humano médio (em torno de 0,76) e apresenta, por fim, índice de motorização abaixo da média estadual.

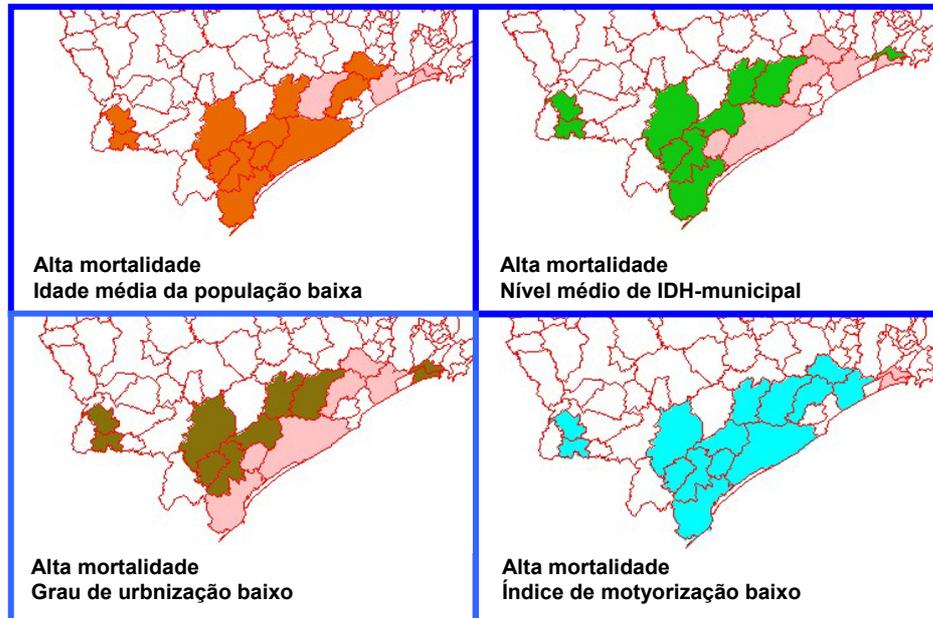


Figura 8.9 – Correlação espacial do agrupamento 3

CAPÍTULO 9

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa teve por objetivo principal estudar a distribuição espacial das ocorrências de mortalidade por atropelamento nos municípios do estado de São Paulo, utilizando sistemas de informações geográficas e ferramentas de estatística espacial, considerando características relativas à população, à urbanização, ao desenvolvimento humano e ao trânsito das áreas estudadas.

Na revisão da literatura foi verificado que os custos anuais com acidentes de trânsito no Brasil, incluindo os rodoviários, chegam a atingir a casa de R\$ 28 bilhões. Entre os anos de 2003 e 2006, os acidentes de trânsito no Brasil deixaram, ao ano, 34 mil mortes, 100 mil pessoas com deficiências temporárias ou permanentes e 400 mil feridos. Foi verificado também que o número de mortes em acidentes por grupo de dez mil veículos no Brasil é aproximadamente quatro vezes maior quando comparado aos índices encontrados em alguns países desenvolvidos.

Quanto à ocorrência de mortes por atropelamento, o índice no Brasil é de aproximadamente 5,6 óbitos por 100 mil habitantes, segundo informações do Ministério da Saúde, referentes ao ano de 2003, nível este quase três vezes maior que países como Estados Unidos, Inglaterra e Canadá. Este indicador varia fortemente segundo as diferentes Unidades da Federação, sendo que o Estado de São Paulo apresenta resultado superior à média nacional, por volta de 9 óbitos por 100 mil habitantes (SEADE, 2006). Muitos municípios paulistas apresentaram, em 2005, índices superiores a 20 óbitos por 100 mil habitantes. Segundo a literatura, os atropelamentos no Brasil são responsáveis por cerca de 23% das mortes por acidentes de trânsito, sendo que esta proporção varia de região para região e, no Estado de São Paulo, este número chega à cerca de 32%.

As análises espaciais realizadas a fim de determinar a existência de padrões espaciais nos valores observados, foram realizadas com o auxílio de SIG e ferramentas de estatística espacial, executadas no *software* SPRING. Na metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas as ferramentas pertencentes a três etapas da análise exploratória de áreas: i) cálculo da média espacial móvel; ii) cálculo do índice global de *Moran* e; iii) cálculo do índice local de *Moran*. Estas etapas foram aplicadas, primeiramente, na análise das taxas de mortalidade por atropelamento e, em

segundo lugar, na análise dos indicadores de aspectos da população, da urbanização, do desenvolvimento humano e do trânsito.

Os dados analisados referentes às taxas de mortalidade por atropelamento foram dados de um período de 10 anos (de 1996 a 2005), adquiridos da Fundação SEADE. Na primeira etapa da análise exploratória de áreas – o cálculo da média espacial móvel – foi possível verificar que as maiores ocorrências de mortes por atropelamento estão concentradas nas Regiões Administrativas (RA) de Registro e de São José dos Campos e nas Regiões Metropolitanas de São Paulo (RMSP) e da Baixada Santista (RMBS). Pôde ser também confirmada a diminuição das mortes por atropelamento no decorrer dos 10 anos, e ligeiro aumento destas ocorrências em regiões do interior do estado.

Na etapa de realização do cálculo do índice global de *Moran*, os índices obtidos para a variável TMA, foram valores próximos de zero – de 0,02 a 0,15 – apresentando assim, autocorrelação espacial muito fraca e, em alguns casos, praticamente inexistente. A partir dos resultados obtidos no índice global de *Moran*, foi realizada a terceira etapa da análise exploratória, o cálculo do índice local de *Moran*, que identifica regiões com diferentes regimes de associação espacial, com locais de autocorrelação mais pronunciada. Nesta fase, pôde-se observar que as áreas de autocorrelação positiva, na grande maioria das análises, são coincidentes. Como resultado final da análise de mortes por atropelamento, foram classificadas as áreas em que ao menos 20% das análises apontaram para a autocorrelação positiva.

Desta forma, conforme estabelecido no primeiro objetivo específico, foram detectados três agrupamentos de áreas com autocorrelação espacial positiva (*clusters*). O primeiro, localizado na região noroeste e centro-oeste do estado de São Paulo (mesorregiões de São José do Rio Preto, Araçatuba e Bauru); o segundo, na região sudeste do estado (divisão da RMSP e mesorregião do Vale do Paraíba Paulista); e o terceiro, agrupamento pertencente à região sul, onde está a mesorregião do Litoral Sul Paulista. Estes *clusters* foram, posteriormente, utilizados para verificar a correlação com os indicadores referentes aos aspectos da população, da urbanização, do desenvolvimento humano e do trânsito nas áreas envolvidas.

Os indicadores analisados foram:

- Indicadores de aspecto populacional: taxa geométrica de crescimento anual da população, densidade demográfica e idade média da população;

- Indicadores de urbanização: nível de centralidade e grau de urbanização;
- Indicador de desenvolvimento humano: IDH-municipal e;
- Indicadores de Trânsito: índice de motorização e trânsito municipalizado.

Na realização do cálculo da média espacial móvel dos indicadores citados, foi possível detectar a tendência espacial da distribuição de cada uma das variáveis, tendo como análise prévia:

- Indicadores de aspecto populacional: taxa geométrica de crescimento anual da população e densidade demográfica, apresentaram os maiores valores na RMSP, na Macrometropolitana Paulista, nas mesorregiões de Campinas, Piracicaba, Itapetininga, Litoral Sul Paulista e Vale do Paraíba; a variável idade média da população apresentou valores maiores nas mesorregiões de São José do Rio Preto, Araçatuba e Presidente Prudente.
- Indicadores de urbanização: os indicadores nível de centralidade e grau de urbanização apresentam valores maiores na RMSP, na Macrometropolitana Paulista, Mesorregiões do Vale do Paraíba, de Campinas, de Piracicaba, Ribeirão Preto, Araraquara e Bauru.
- Indicador de desenvolvimento humano: o IDH municipal tem níveis maiores nas mesorregiões de Ribeirão Preto, Campinas, Piracicaba, Macrometropolitana Paulista e na RMSP.
- Indicadores de trânsito: os maiores valores da variável índice de motorização, ficam em áreas pertencentes às mesorregiões de Campinas, Piracicaba, Araraquara, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto, e o indicador trânsito municipalizado, tem maiores concentrações nas mesorregiões de Itapetininga, de Campinas, de Ribeirão Preto, de Bauru, na Macrometropolitana Paulista e na RMSP.

Na etapa seguinte da análise exploratória – cálculo do índice global de *Moran* – todos os valores obtidos foram positivos, indicando autocorrelação espacial positiva. Os valores obtidos foram: 0,46 para a taxa geométrica de crescimento anual da população; 0,53 para a densidade demográfica; 0,54 para a idade média da população; 0,34 para o grau de urbanização; 0,39 para o índice de desenvolvimento humano municipal; 0,34 para índice de motorização e 0,30 para o índice de trânsito municipalizado. Como o

índice global de *Moran* não faz distinção das áreas em que a ocorrência de dependência espacial é mais ou menos pronunciada, uma vez que se refere a um único indicador para todo o estado, foi utilizado o índice local de *Moran*.

Os resultados obtidos pelo índice local de *Moran* revelaram a existência de *clusters* para todas as variáveis analisadas. A taxa geométrica de crescimento anual da população apresentou dois agrupamentos, o primeiro situado nas regiões oeste e noroeste do estado (menores valores) e, o segundo, no entorno da RMSP, seguindo para a Macrometropolitana Paulista e para a mesorregião de Campinas com os maiores valores de crescimento populacional. Em relação à densidade demográfica, foi encontrado apenas um agrupamento bem definido na RMSP (municípios com densidade demográfica elevada).

A variável idade média da população apresentou dois *clusters*, sendo o primeiro nas regiões oeste e noroeste do estado (áreas com valores de idade média da população mais altos) e o segundo em partes das regiões sul, sudoeste e sudeste do estado (áreas com valores de idade média da população menores). A variável grau de urbanização um *cluster* bem definido e pertencente às mesorregiões do Litoral Sul Paulista e de Itapetininga. São áreas com as menores taxas de urbanização do estado. A variável seguinte, o IDH-Municipal, apresentou comportamento semelhante ao grau de urbanização, porém com dois agrupamentos distintos, o primeiro nas regiões sul e sudoeste do estado, onde estão os municípios com níveis mais baixos de desenvolvimento humano e o segundo, regiões sudeste e nordeste do estado, com municípios que têm altos níveis de desenvolvimento humano.

Finalmente, quanto à condição do trânsito, verificou-se que o índice de motorização tem dois *clusters*, um na região sul e parte da região sudeste (com índices baixos de motorização) e outro nas regiões sudeste e centro-oeste (com altos índices de motorização). Quanto à municipalização do trânsito, existe um agrupamento de autocorrelação espacial positiva, que está inserido na região sudeste e parte da região centro-oeste do estado de São Paulo, onde estão concentrados os municípios que já têm o trânsito municipalizado.

Quanto ao segundo objetivo específico, verificar a correlação espacial entre a taxa de mortalidade por atropelamento e as demais variáveis, foi possível compreender que, enquanto o **agrupamento 2** guarda uma fraca correlação entre a taxa de mortalidade por atropelamento e a municipalização do trânsito, os agrupamentos 1 e 3 mantém algumas correlações bastante significativas, relacionadas no Quadro 8.2.

O **agrupamento 1** (centro-oeste e noroeste do estado) apresentou índices médios de mortalidade por atropelamento (para o período de 10 anos) de 3,4 óbitos a cada 100 mil habitantes, valor abaixo da média do Estado de São Paulo, que é de 9 óbitos a cada 100 mil habitantes e também abaixo da média brasileira – 5,6 óbitos por 100 mil habitantes. Nas análises efetuadas, foi constatada correlação direta entre a taxa de mortalidade por atropelamento e a baixa densidade demográfica dos municípios envolvidos. Foi verificada também correlação espacial direta entre a taxa de mortalidade por atropelamento e a taxa geométrica de crescimento anual da população, que em ambos os casos, apresentam-se baixas nesta região do estado. Finalmente, em relação às características da idade média da população, os municípios do agrupamento 1 têm idade média da população superior às outras regiões do estado (em torno de 33 anos), ocorrendo neste caso, uma correlação espacial inversa, ou seja, enquanto a taxa de mortalidade por atropelamento tem valor baixo, a idade média da população da região tem valor mais alto que outras áreas do estado. A baixa taxa geométrica anual da população resulta em municípios menos adensados e em municípios onde o processo de envelhecimento da população é mais acentuado. Nestes municípios, onde ocorre o menor adensamento populacional e redução de população jovem, há uma conseqüente diminuição de acidentes de trânsito com vítimas fatais por atropelamentos. Deve-se lembrar que, segundo Maia (2006), o nível de mortalidade por atropelamento aumenta à medida que a idade avança, atingindo seu acme no grupo etário de 70 anos e mais. A discordância entre o resultado obtido nesta pesquisa e os resultados obtidos no estudo de Maia (2006), deve-se, principalmente, ao fato de no primeiro caso ser analisada a população geral dos municípios paulistas e, no segundo caso, os estudos referirem-se somente às vítimas fatais do atropelamento.

No **agrupamento 3** estão municípios que apresentam índices médios de mortalidade por atropelamento de 11,7 óbitos a cada 100 mil habitantes, acima da média brasileira e acima da média paulista. Neste agrupamento, a taxa de mortalidade por atropelamento guarda correlação espacial com a idade média da população mais baixa que outras regiões do estado (29 anos), com o grau de urbanização (são municípios menos urbanizados), com o nível de desenvolvimento humano (nível médio) e com o índice de motorização com valor baixo nesta região. Em relação à idade média da população, ocorre o mesmo processo do agrupamento 1, onde a baixa mortalidade por atropelamento está associada a idade mais elevada dos habitantes da região. Neste caso, a alta mortalidade correlaciona-se com uma população mais jovem, onde provavelmente há excesso de confiança e falsa segurança em questões relativas ao trânsito. As mesmas razões permeiam o fato destes municípios com mortalidade elevada apresentarem,

surpreendentemente, um Índice de Motorização menor. Nestes locais também ocorre excesso de confiança e falsa segurança no trânsito, além do fato de existindo menos veículos nas ruas, a população anda mais a pé. Em relação ao IDH-M destas localidades com nível médio, pode-se observar o cenário internacional, onde países como Suécia, Noruega e Finlândia apresentam elevados Índices de Desenvolvimento Humano e excelentes índices de segurança no trânsito. São países onde o nível geral de educação é elevado. Conclui-se que o trânsito tem relação direta com educação e cidadania. Cidadãos bem educados contribuem com os bons índices de segurança no trânsito. A convivência no trânsito exige atitudes responsáveis. É preciso perceber que cada segmento tem um papel a desempenhar, do qual depende a convivência harmoniosa, prevalecendo sempre o direito à vida.

Finalizando, a mortalidade por atropelamento pode estar associada a outros fatores aqui não estudados, como é o caso da existência de rodovias nas áreas em questão. O fato de regiões serem cortadas por importantes rodovias pode significar um elevado número de atropelamentos a elas associadas, como é o caso da região do agrupamento 3, que é cortada pela Rodovia Régis Bittencourt. Como citado por Vasconcelos & Lima (1998), a mortalidade por atropelamento pode estar associada à falta de infra-estrutura adequada que permita uma circulação segura dos pedestres, tanto no meio urbano como nas rodovias; inexistência de políticas de gerenciamento de conflitos no trânsito, especialmente em relação aos pedestres; acelerado processo de urbanização e falta de educação no trânsito. Adicionalmente, aspectos peculiares às cidades e municípios, tais como características do sistema viário e sua operação, projetos de circulação, topografia, fiscalização, a vocação de cada cidade/município (industrial, comercial, turística, estudantil, etc.) não foram considerados nesta pesquisa. A dificuldade na obtenção desses dados, para todos os municípios inviabilizou o seu uso. Essas variáveis, caso estejam disponíveis, poderiam ser utilizadas para melhor avaliar a correlação dos atropelamentos e demais fatores associados aos municípios. A pesquisa poderá, também, se estender para outros tipos de acidentes de trânsito, além dos atropelamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, C.L.; SZWARCOWALD, C.L., **Análise especial da mortalidade neonatal precoce no município do Rio de Janeiro, 1995-1996**. Caderno Saúde Pública. 2001.
- ANSELIN, L., **Spatial Econometrics: Methods and Models**. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 1988.
- ANSELIN, L., **Testing for spatial dependence in linear regression models: a review**. Regional Research Institute Research Paper. West Virginia University, Morgantown. 1994.
- ANSELIN, L., **Local indicators of spatial association – LISA**. Geographical Analysis, 1995.
- ANSELIN, L., **The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association**. In: Fisher, M., Scholten, H. J. e Unwin, D. (eds.). Spatial Analytical Perspectives on GIS. Taylor & Francis, Londres, 1996. p. 111-126.
- ANSELIN, L.; BAO, S., **Exploratory spatial data analysis linking SpaceStat and ArcView**. In: Fisherv, M. e Getis, A (eds.), Recent Developments in Spatial Analysis. Springer-Verlag, Berlim, 1997.
- ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos, **Transporte Humano – Cidades com Qualidade de Vida**. São Paulo, ANTP, 1997.
- ANTP – Associação Nacional de Transportes Públicos, **Semanal ANTP: Trânsito no Brasil: Avanços e desafios**. São Paulo, ANTP, 2007.
- ASSUNÇÃO, R.M., **Estatística Espacial com aplicações em Epidemiologia, Economia, Sociologia**. 7ª Escola de Modelos de Regressão, São Carlos, SP, 2001.
- BAILEY, T.C.; GATRELL, A.C., **Interactive Spatial Data Analysis**. Essex, Longman Scientific & Technical. 1995.
- BICHIR, R.M.; TORRES, H.G.; FERREIRA, M.P., **Jovens no Município de São Paulo**. Explorando o Efeito das Relações de Vizinhança. R. B. Estudos Urbanos e Regionais, 2004. V. 6, N. 2.
- CÂMARA, G.; CARVALHO, M.S., **Análise Espacial de Eventos**. In: FUKS, S. D.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (eds.) Análise espacial de dados geográficos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, SP, 2000. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 18 ago 2005.

- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.G.; CARVALHO, M.S., **Análise Espacial e Geoprocessamento**. In: FUKS, S. D.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (eds.) Análise espacial de dados geográficos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, SP, 2000a. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 18 de agosto de 2005.
- CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V., **Análise Espacial de Áreas**. In: FUKS, S. D.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (eds.) Análise espacial de dados geográficos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, SP, 2000B. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 18 de agosto de 2005.
- CÂMARA, G.; CORREA, V.; PAIVA, J.A.; MONTEIRO, A.M.V.; CARVALHO, M.S.; FREITAS, C.C.; RAMOS, F.R.; NEVES, M.C., **Estatística Espacial**. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V.; PAIVA, J.A.; D'ALGE, J. C. L. Geoprocessamento: Teorias e aplicações, 2001. Disponível em: <<http://www.ptr.Usp.br/Cursos/AnaliseEspacial/Livro/cap13statespacial.pdf>>. Acesso em: 27 de setembro de 2005.
- CAMPOS, M.R.; VALENCIA, L.I.O.; FORTES, B.P.M.D.; CAMPOS, B.R.C.; ANDRADE, M.R., **Distribuição espacial da infecção por ascaris lumbricoides**. Ver. Saúde Pública. São Paulo. 2002. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=3489102002000100011&ing=em&nrm=iso>. Acesso em 30 de março de 2007.
- CARDOSO, G., **Utilização de um Sistema de Informações Geográficas Visando o Gerenciamento da Segurança Viária no Município de São José – SC**. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. 1999.
- CET – Companhia de Engenharia de Tráfego, **Curso Básico de Engenharia de Tráfego: Análise de Segurança**. Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria de Transportes. 1979.
- CID – Classificação Internacional de Doenças, **9ª Revisão**: Adaptação para o Brasil – CID-BR. Centro Brasileiro de Classificação de Doenças. São Paulo. 1978.
- CRESPO, A.A., **Estatística fácil**. São Paulo. 2004
- CRESSIE, N., **Statistics for spatial data**. New York, Wiley. 1993.
- DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito, **Municipalização do trânsito: roteiro para implantação**. Brasília, 2000.
- DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito, **Anuário estatístico de trânsito**. 2002. Disponível em www.denatran.gov.br. Acesso em: 13 de outubro de 2006.

- DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito, **Motoristas com mais de sete anos de habilitação farão curso de direção defensiva e primeiros socorros**. 2005. Disponível em: www.denatran.gov.br. Acesso em 22 de abril de 2005.
- DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito, **Conceitos Básicos de Estatística**. 2007. Disponível em www.denatran.gov.br. Acesso em: 26 de abril de 2007.
- DESLANDES, S.F., **O impacto da violência nos serviços de emergência hospitalar**. Rio de Janeiro, 1997. (Relatório de pesquisa – Claves/ENSP/Fiocruz).
- GEIPOT, **O Acidente de Tráfego**, Flagelo Nacional Evitável. Ministério dos Transportes. Brasília, 1987.
- GOLD, P. A., **Seguridad de Trânsito**: Aplicaciones de Ingeniería para Reducir Accidentes. Washington, D. C., USA. Banco Interamericano de Desarrollo, 196p. 1998.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Região de Influência das Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Malha Municipal Digital – 1997**: documentação técnica. 1997.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Censo**. 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo>>. Acesso em: 18 de março de 2007.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Mapas interativos**. 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em: 19 de setembro de 2007.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**: SPRING. Versão 4.3. 2006
- INST – Instituto Nacional De Segurança No Trânsito, **Manual para Elaboração de Plano Municipal de Segurança no Trânsito**. 58p. 1995.
- IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social – Fundação Edson Viera, **Serviços públicos e política de saúde**: mortalidade no Paraná. Curitiba, 1991.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, **Caracterização e tendências da Rede Urbana do Brasil**: Redes Urbanas Regionais: Sudeste. IPEA, IBGE, UNICAMP, IE, NESUR, SEADE. Brasília, 2001.
- KREMPI, A. P., **Explorando Recursos de Estatística Espacial para Análise da Acessibilidade da Cidade de Bauru**. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Programa de Pós Graduação em Transportes. 98 fl. Dissertação de Mestrado. 2004.

- LANDIM, P.M.B., **Análise Estatística de Dados Geológicos**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP. 1998.
- LEMOS, M.B., **Diretrizes para formulação de políticas de desenvolvimento regional e de ordenação do território brasileiro**. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional – Faculdade de Ciências Econômicas – Universidade Federal de Minas Gerais. 2004
- LEVINE, N., **Spatial statistics and GIS – software tools to quantify spatial patterns**. Journal of the American Planning Association, 1996. v. 62, n° 3, p. 381-391.
- LOPES, S.B., **Efeitos da Dependência Espacial em Modelos de Previsão de Demanda por Transporte**. Escola de Engenharia de São Carlos (EESC). Universidade de São Paulo (USP). São Carlos. 2005. Dissertação de Mestrado.
- MAIA, P.B., **Mortalidade por Atropelamento em São Paulo: Níveis de Tendências e Distribuição Espacial**. 2006.
- MANTOVANI, V.R., **Proposta de Um Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Tráfego**. São Carlos - SP. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. UFSCar. 196fl. Dissertação de Mestrado. 2003.
- MELO, L.B., **Estudo da Velocidade Média de Caminhada de Pedestres em Travessias Localizadas em Rodovias**. Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado. 2003
- MESQUITA, C., **Regiões Metropolitanas: violência na vida e na morte**. Dados. 1990.
- MILER, J.S., **Geographic Information Systems: unique analytic capabilities for the traffic safety community**. Transportation Research Record. 2000.
- OTT, E.A.; FAVARETTO, A.L.; NETO, A.F.; ZECHIN, J.G.; BORDIN, R., **Acidentes de trânsito em área metropolitana da Região Sul do Brasil: caracterização da vítima e das lesões**. Revista de Saúde Pública, 1993.
- PADULA, N.A.M.R.; ABREU, M.H., MIYAZAKI, L.C.Y, *et al.*, **Intoxicação por chumbo e saúde infantil: ações intersectoriais para o enfrentamento da questão**. Caderno de Saúde Pública. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid> Acesso em: 25 de julho de 2007.
- PAELINCK, J.H.P.; KLAASSEN, L.H., **Spatial Econometrics**. Farnborough. Saxon House. 1979.
- PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, **Novo atlas do desenvolvimento humano do Brasil**. IPEA/FJP/PNID, 2002.

- QUEIROZ, M.P., **Análise espacial dos acidentes de trânsito do município de Fortaleza**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2003. 124 fl.
- QUEIROZ, M.P.; LOUREIRO, C.F.G.; YAMASHITA, Y., **Caracterização de Padrões Pontuais de Acidentes de Trânsito Aplicando as Ferramentas de Análise Espacial**. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Florianópolis, SC, 2004. p.427- 438.
- RAIA JUNIOR, A.A., **Fundamentos de Segurança no Trânsito**. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Departamento de Engenharia Civil – Deciv. 129 p. (notas de aula) São Carlos – SP. 2004.
- RAMOS, F.R., **Análise Espacial de Estruturas Intra-urbanas: o Caso de São Paulo**. São José dos Campos, 2002. 142p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- REINHOLD, I.R.; GOLDNER, L.G., **O uso de sistemas de informações geográficas na análise de atropelamento de pedestres em áreas urbanas**. In: XIII CLAPTPU – Congresso Latino Americano de Transporte Público y Urbano. 2005. Lima-Perú.
- SANTOS, L., **Análise dos Acidentes de Trânsito do Município de São Carlos-SP utilizando Sistemas de Informações Geográficas e Ferramentas de Estatística Espacial**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2005.
- SCHNEIDER, R.J.; KHATTAK, A.J.; ZEGERER, C.V., **Method of Improving Pedestrian Safety Proactively with Geographic Information Systems**. Transportation Research. 2001.
- SCIESLESKI, A.J., **Aspectos psicopatológicos do homem no trânsito**. Revista Brasileira de Medicina do Tráfego. 1982.
- SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, **Mortalidade por Atropelamento**. Resenha de Estatísticas Vitais do Estado de São Paulo. São Paulo. 2006.
- SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, **Informações dos Municípios Paulistas**. 2007. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/ produtos/imp>>. Acesso: 13 de janeiro de 2007.
- SERRANO, R.M.; VALCARCE, E.V., **Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: la econometría espacial**. Barcelona, Edicions Universita de Barcelona, 2000.
- SZWARCWALD, C.L.; CASTILHO, E.A., **Mortalidade por armas de fogo no estado do Rio de Janeiro, Brazil: uma análise espacial**. Revista Panam Salud Publica. EUA. 1998.

- TJAP – Tribunal de Justiça do Estado do Amapá, **Tribunal de Justiça Promove “Paz no Trânsito”**. 2006. Disponível em: www.tjap.gov.br/ler_noticia.php?id=441. Acesso em: 20 de agosto de 2006.
- TRIVELLONI, C.A.P., **Método para Determinação do Valor da Localização com uso de Técnicas Inferenciais e Geoestatísticas na Avaliação em Massa de Imóveis**. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis. 2005. Tese de Doutorado.
- UNDERWOOD, M., **Clinical assessment and injury prevention**. Arch. Intern. Med. 1992.
- VASCONCELOS, A.M.N.; LIMA, D.D., **A mortalidade por Acidentes de Trânsito no Brasil**. In: XI Encontro nacional Nacional de Estudos Populacionais. Anais... Caxambu, v.1, 1998.
- VELLOSO, M.S; JACQUES, M.A.P., **Procedimentos para investigação “in loco” de atropelamentos ocorridos em rodovias inseridas em área urbana**. 10º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Joinville, 2005.

ANEXO

Anexo 1.1 – Municípios do Estado de São Paulo com taxa de urbanização de 100%

Município	Mesorregião
Hortolândia	Campinas
Ilha Comprida	Litoral Sul Paulista
Joanópolis	Macrometropolitana Paulista
Piracaia	
Várzea Paulista	
Barueri	Metropolitana de São Paulo
Carapicuíba	
Cotia	
Diadema	
Embu	
Itapevi	
Itaquaquecetuba	
Jandira	
Mauá	
Osasco	
Praia Grande	
Ribeirão Pires	
Rio Grande da Serra	
Santana de Parnaíba	
Santo André	
São Caetano do Sul	
Taboão da Serra	
Vargem Grande Paulista	
Várzea Paulista	

(Fonte: IBGE, 2000)