

## INCORPORANDO UM INDICADOR DE OFERTA DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES NA DEFINIÇÃO DE REGIÕES METROPOLITANAS

**Gustavo Garcia Manzato**  
**Antônio Nelson Rodrigues da Silva**  
Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para a identificação e delimitação de regiões metropolitanas baseada na combinação de indicadores de oferta de infra-estrutura viária e populacional, fazendo uso de recursos de duas técnicas de análise espacial: a estatística espacial e a modelagem espacial. A proposta é testada em um estudo de caso desenvolvido para o estado de São Paulo e os resultados são confrontados entre si na forma de mapas temáticos que representam quadrantes do gráfico de espalhamento de Moran. A estratégia de análise permite destacar regiões de maior relevância segundo um critério comum, além de uma comparação com as três regiões metropolitanas legalmente constituídas no estado. Os resultados obtidos sugerem uma ocupação do território apontada para o interior ampliando as regiões metropolitanas existentes, além da criação, em médio prazo, de novas regiões metropolitanas no estado.

### ABSTRACT

The objective of this paper is to introduce a methodology for the identification and delimitation of metropolitan regions based on a combination of indicators of the transportation infrastructure supply and of the population distribution, by means of two spatial analysis techniques: spatial statistics and spatial modeling. The approach is tested in a case of study carried out in the state of São Paulo and the results are compared through thematic maps representing quadrants of the Moran's scatterplot. The analysis strategy makes possible to highlight the most relevant regions according to a common criterion, in addition to a comparison with the three legal metropolitan regions in the state. The results suggest an occupation of the territory towards the hinterland and in two different ways: through an extension of the existing metropolitan regions and through the creation of new metropolitan regions in the state in the near future.

### 1. INTRODUÇÃO

Citadas por Monteiro (2000), as estatísticas de 1995 da ONU (Organizações das Nações Unidas) mostram que o nível mundial de urbanização em meados da década de noventa era de cerca de 80% para a Europa, América do Norte, América do Sul e Oceania, sendo na Ásia onde se verificava o maior crescimento da taxa de urbanização. A crescente urbanização do planeta constitui a causa mais evidente do incremento dos estudos e das estatísticas urbanas verificada nos últimos anos. Estudar as cidades requer um olhar amplo, capaz de identificar e relacionar os inúmeros processos sociais, culturais, econômicos e ambientais que atuam na definição dos espaços urbanos. Hoje muitas pessoas vivem em cidades, muitas delas imensas aglomerações urbanas que colocam os teóricos frente ao desafio de elaborar modelos conceituais capazes de traduzir a totalidade das inter-relações presentes nestas estruturas multidimensionais (Ramos, 2002).

Um dos desafios enfrentados atualmente pelos planejadores e administradores urbanos é o fato de que os limites das áreas urbanizadas frequentemente diferem dos limites administrativos oficiais dos municípios em que estão inseridas. Essas regiões geralmente ultrapassam os limites de uma simples cidade e abrangem municípios vizinhos, entretanto são menores que a divisão administrativa superior (os estados, por exemplo). Surge, então, a necessidade de caracterizar novas fronteiras para a resolução de problemas relativos à expansão urbana. Em alguns casos, os governos centrais procuram resolver os conflitos derivados da proximidade excessiva existente entre municípios que se encontram nas condições geográficas referidas. Em outras situações é criado um nível administrativo

intermediário que corresponde a um governo metropolitano, o qual deverá possuir competência, aptidão e processos necessários para equacionar os desafios que surjam neste nível. Contudo, a definição das fronteiras desses aglomerados urbanos não é normalmente fácil, principalmente devido a incompatibilidades entre interesses políticos e econômicos das partes envolvidas (Ramos e Silva, 2003a e 2003b; Ramos *et al.* 2004).

Este não é um problema recente e pode-se encontrar na literatura várias propostas de métodos para a delimitação dessas conurbações, como por exemplo: *Office of Management and Budget* (1998, 1999 e 2000), *Metropolitan Area Standards Review Committee* (2000), NUREC (1994), Lacour e Puissant (1999), Ferreira e Rosado (1999) e Ferrão *et al.* (2002). A identificação dessas regiões urbanas, em geral contíguas e supostamente homogêneas, pode ser feita de diversas maneiras, sendo três critérios bastante usuais. O primeiro deles, o administrativo, considera relações político-administrativas entre os municípios. Esse critério em muitos casos não reflete a realidade necessária para os processos de planejamento e gerenciamento urbano da área total resultante da junção dos municípios. O segundo critério é baseado em fluxos de viagens realizadas entre os municípios considerados, sendo apresentado pelo *Office of Management and Budget* (2000), nos Estados Unidos, como o mais indicado para a identificação de áreas urbanas homogêneas. Entretanto, como o próprio documento reconhece que dados confiáveis e atualizados de viagens são difíceis de serem obtidos na maioria das cidades, um critério considerado razoável nestes casos é a utilização da densidade populacional como uma alternativa para a definição de regiões metropolitanas. Esse é o terceiro critério identificado na literatura com frequência (como em Ramos e Silva, 2003a, 2003b e 2006, e Ramos *et al.*, 2004).

Conforme discutido em Manzato *et al.* (2006), a adoção do terceiro critério como substituto daquele que seria o mais indicado não considera, no entanto, a possibilidade de se adotar uma variável *proxi* para descrever os fluxos de viagens entre municípios. Como as viagens dependem necessariamente da existência de infra-estrutura viária, a caracterização do nível de oferta dessa infra-estrutura deveria refletir com razoável fidelidade os fluxos observados. Os autores sugerem então uma combinação de indicadores de oferta de infra-estrutura e populacionais para a identificação de regiões urbanas homogêneas. Nesse sentido, em uma seqüência daquele estudo, o objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia que contemple essa questão, mais especificamente, a definição de critérios para delimitação de regiões metropolitanas (ou regiões urbanas homogêneas). Essa metodologia se baseia na combinação de indicadores de oferta de infra-estrutura viária e populacional, fazendo uso de recursos de duas técnicas de análise espacial: a estatística espacial e a modelagem espacial.

A proposta formulada é testada em um estudo de caso desenvolvido para o estado de São Paulo, através do qual são caracterizadas regiões homogêneas por meio da densidade populacional em três períodos: 1991, 1996 e 2000. Analisando-se o comportamento dessa variável nestes períodos é ainda desenvolvido um modelo de previsão que permite caracterizar a distribuição populacional no estado para o ano de 2006. Essas informações são então confrontadas com as regiões obtidas por meio de um indicador de oferta de infra-estrutura viária, além de uma comparação com as três regiões metropolitanas legalmente constituídas no estado. Este artigo está estruturado da seguinte forma: os fundamentos teóricos são resumidamente discutidos na seção 2 e a apresentação da metodologia proposta está na seção 3. A apresentação da aplicação no estado de São Paulo é descrita na seção 4 e na

seção 5 são apresentadas algumas conclusões relativas à metodologia utilizada e aos resultados obtidos.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A metodologia proposta neste estudo para a identificação de regiões metropolitanas se baseia na combinação de indicadores de oferta de infra-estrutura viária e populacional, explorando ferramentas de análise espacial. A proposta de combinação desses indicadores foi verificada em Manzato *et al.* (2006) e, como os próprios autores sugerem, essa combinação deve ser feita utilizando-se um critério comum entre as variáveis. Uma das possibilidades seria a comparação desses indicadores por meio do cálculo de média e desvio-padrão, por exemplo. Por outro lado, existem técnicas mais robustas para análise de dados distribuídos sobre o território, como no caso aqui estudado. Um exemplo é a utilização de técnicas de análise exploratória de dados espaciais (ESDA, do inglês *Exploratory Spatial Data Analysis*), que permite informar se existe ou não alguma semelhança entre as variáveis ao considerar relações de vizinhança entre as entidades espaciais.

Tendo em vista a utilização dessas técnicas no presente estudo, a seguir são apresentadas algumas informações teóricas a respeito dos indicadores de oferta de infra-estrutura de transportes e das técnicas de análise espacial. Na próxima seção é apresentada a metodologia de identificação de regiões metropolitanas propriamente dita.

### 2.1. Indicadores de oferta de infra-estrutura de transportes

Conforme discutido em Magalhães *et al.* (2004), existem inúmeros indicadores que permitem caracterizar a oferta de infra-estrutura de transportes. Alguns exemplos são: Extensão viária, Densidade espacial da rede viária, Densidade populacional da rede viária e Indicador de cobertura espacial de estrutura de circulação viária. Manzato *et al.* (2006) realizaram um estudo sobre os indicadores citados anteriormente, testando a viabilidade do seu uso como uma variável *proxi* dos fluxos de viagens entre municípios, com vistas à identificação de zonas urbanas homogêneas. Naquele estudo pôde-se observar que dentre os indicadores relacionados à oferta de infra-estrutura de transportes, aquele que mais se aproxima da realidade é o Indicador de cobertura espacial de estrutura de circulação viária, proposto por Magalhães *et al.* (2004) e aqui adotado. Este indicador diz respeito à área influenciada por um sistema de transporte e é composto por uma faixa ou região ao redor deste sistema (bandas ou *buffers*), conforme a Equação (1).

$$IC_{Rodo|x} = \frac{\sum_1^n \gamma(i)A_i}{A_x} \quad (1)$$

Em que:  $\gamma(i)$ : função que determina o peso do atributo à  $i$ -ésima faixa de cobertura (*buffer*) tal que  $\gamma_i \in [0,1]$ ;  
 $A_i$ : área da  $i$ -ésima faixa (*buffer*) pertence a X;  
 $A_x$ : área da região de estudo X;  
 $n$ : número de faixas.

### 2.2. Análise exploratória de dados espaciais

Nas técnicas de ESDA, uma das áreas da análise espacial, está inserida a estatística espacial, cujo aspecto fundamental é a caracterização da dependência espacial, mostrando como os valores estão correlacionados sobre o território. Esse tipo de análise pode ser feita em dois

tipos de dados: dados contínuos no espaço (*geostatistical data*) ou dados agrupados em áreas (*lattice data*) (Cressie, 1993). Esta última é a situação que se ajusta à análise que será aqui desenvolvida, em que os dados estão associados a polígonos.

Nas técnicas de ESDA estão presentes três elementos básicos: uma matriz de proximidade espacial ( $W$ ), um vetor de desvios ( $Z$ ) e um vetor de médias ponderadas ( $W_z$ ). Estes elementos são usados para gerar os resultados (índices e classificações) que são utilizados em conjunto com as ferramentas de visualização de análise exploratória. O índice de Moran ( $I$ ) é a estatística mais difundida e fornece uma medida geral da associação espacial existente em um conjunto de dados, testando se as áreas conectadas apresentam maior semelhança quanto ao indicador estudado do que o esperado em um padrão aleatório (Anselin, 1995; Lopes, 2005; Neves *et al.*, 2000). Para valores normalizados, varia de -1 a 1 e 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, por sua vez, indicam autocorrelação negativa. O índice de Moran pode ser descrito em função dos elementos básicos vistos anteriormente, sendo seu valor calculado através da Equação (2), em que o expoente  $t$  define vetor transposto.

$$I = \frac{Z'W_z}{Z'Z} \quad (2)$$

Além dos índices presentes nas técnicas de ESDA, como o da Equação (2), por exemplo, outras formas para a apresentação de dados podem ser: o gráfico de espalhamento de Moran e o mapa de espalhamento de Moran (*Box Map*). Câmara *et al.* (2002) esclarecem que o diagrama de espalhamento de Moran é construído com base nos valores normalizados de  $Z$  por  $W_z$ , permitindo analisar a distribuição espacial de uma variável com a média de sua vizinhança. Este gráfico é subdividido em quatro quadrantes através da delimitação a partir dos valores nulos de cada eixo, podendo-se identificar quatro zonas distintas, normalmente definidas como quadrantes Q1, Q2, Q3 e Q4. Os quadrantes Q1 e Q2 indicam áreas em que o atributo possui valor semelhante ao da média das áreas vizinhas. Em Q1 ambos os valores são positivos, por serem superiores à média global, e em Q2 são ambos negativos, por serem inferiores à média global. Estas situações indicam uma autocorrelação espacial positiva. Os pontos localizados nos quadrantes Q3 e Q4 indicam áreas em que o atributo possui valor diferente do da média das áreas vizinhas. Em Q3 a área possui um valor inferior à média global e as zonas vizinhas possuem um valor superior à média global. Em Q4 a área possui um valor superior à média global e as zonas vizinhas possuem um valor inferior à média global. Estas situações, ao contrário das duas primeiras, indicam uma autocorrelação espacial negativa, ou seja, são áreas que não seguem o padrão estabelecido pelos vizinhos (Ramos e Silva, 2003a e 2003b).

### 2.3. Modelagem espacial

A modelagem espacial é também uma das áreas da análise espacial que tem sido útil para o planejamento urbano e regional pela possibilidade de se gerar cenários múltiplos de apoio à decisão. Por meio da análise dos elementos representados pela estatística espacial em períodos de tempo distintos, algumas observações podem ser feitas a respeito do comportamento de uma variável, permitindo a identificação de padrões e a projeção de tendências em uma

região. Um grupo de modelos que está presente em algumas das mais recentes aplicações são os Autômatos Celulares (CA), por possibilitarem a identificação de padrões regionais através do comportamento local de um reduzido número de elementos (Santos, 2005). Os CA's apresentam algumas características importantes, como por exemplo: espaço regular, relações de vizinhança, regras de transição, entre outras.

Entretanto, em alguns casos são realizadas algumas adaptações nos conceitos dos CA's para a sua aplicação em contextos distintos. O modelo proposto neste estudo utiliza, por exemplo, os dados relativos ao gráfico de Moran para identificar a importância relativa dos quadrantes a que pertencem os vizinhos ao estabelecer as regras de transição. Este processo é semelhante ao adotado nos CA's em dois aspectos: na adoção de regras de transição (que neste estudo foram obtidas por meio de redes neurais) e pela hipótese básica de que relações locais geram padrões globais. Por outro lado, o modelo desenvolvido é diferente dos "tradicionais" CA pela forma como subdividido o território. Ao contrário da habitual subdivisão em células iguais (modelo *raster* de SIG) é adotada uma subdivisão coincidente com os dados estatísticos (através de um modelo de SIG vetorial).

### 3. METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DE REGIÕES METROPOLITANAS

Conforme discutido anteriormente, as técnicas de ESDA aqui mencionadas são empregadas para a caracterização de regiões segundo duas variáveis: a densidade populacional e o indicador de cobertura espacial de estrutura de circulação viária, proposto por Magalhães *et al.* (2004). Inserida nessas técnicas, a estatística espacial é utilizada para a identificação de padrões sobre a distribuição populacional no estado de São Paulo em três períodos: 1991, 1996 e 2000. Em uma tentativa de se avaliar o crescimento da população em um período de projeção para 2006, é desenvolvido um modelo de previsão, utilizando-se para isso, os dados dos períodos já mencionados com os conceitos de modelagem espacial. Essas informações são então confrontadas com os resultados obtidos por meio do indicador de oferta de infraestrutura, juntamente com uma comparação das regiões metropolitanas legalmente constituídas no estado.

Os resultados desses indicadores são então representados por meio de mapas temáticos, os quais permitem uma melhor visualização da ocorrência dessas variáveis sobre o território em estudo. No entanto, a representação simplesmente por meio do valor numérico obtido torna difícil a comparação direta entre os diversos índices. Na tentativa de se padronizar essa representação, uma possibilidade é a apresentação desses indicadores utilizando os conceitos de ESDA, mais especificamente, de acordo com os quadrantes do gráfico de Moran. Nesta abordagem, a padronização da classificação, nos quadrantes Q1, Q2, Q3 e Q4, torna mais fácil a comparação do indicador de oferta de infraestrutura viária com a distribuição da população.

As regiões metropolitanas são então definidas por meio das observações realizadas nos mapas temáticos que representam os mencionados indicadores classificados segundo os quadrantes do gráfico de Moran. Considerando-se o indicador de oferta de infraestrutura, são comparados os municípios situados no Q1 com aqueles situados em Q1, Q3 e Q4 do indicador populacional. A combinação Q1-Q1 evidencia a existência de região homogênea (ou metropolitana). Se a combinação for Q1-Q3, há a possibilidade de uma ampliação da região metropolitana existente e, se for Q1-Q4, há uma tendência de formação de novas regiões metropolitanas nucleadas por municípios situados no Q4 do indicador populacional.

#### 4. ESTUDO DE CASO

A partir da metodologia discutida anteriormente realizou-se um estudo de caso para o estado de São Paulo, no Brasil. O estado possui atualmente 645 municípios que apresentam algumas das maiores densidades demográficas verificadas no país. São Paulo conta também com a segunda maior rede de rodovias no país (pavimentadas e não pavimentadas), sendo a maior neste caso, a do estado de Minas Gerais. Entretanto, possui a maior rede viária pavimentada do Brasil, com mais de 25.000 km de extensão (GEIPOT, 2000). O estado de São Paulo conta também com três Regiões Metropolitanas “oficiais”: a de São Paulo, a da Baixada Santista e a de Campinas, que juntas concentram cerca de 21,7 milhões de habitantes, ou seja, 58,6 % da população do estado e 12 % do total do país. Essas regiões metropolitanas ocupam uma área de aproximadamente 14.000 km<sup>2</sup>, representando 5,6 % da área do estado de São Paulo. Apresentam também um Produto Interno Bruto (PIB) superior ao de muitos países, como Dinamarca e Noruega, e que corresponde a 63,2 % do PIB estadual e quase um quarto do nacional (EMPLASA, 2002).

Para este estudo de caso, as principais fontes de dados foram os Censos demográficos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referentes aos anos de 1991 e 2000 além dos dados de uma contagem da população realizada em 1996 por este mesmo instituto, e a malha rodoviária do estado de São Paulo. A partir do banco de dados organizado e completo, procedeu-se à análise espacial dos dados de densidade populacional, em seguida construiu-se o modelo de previsão para o ano de 2006 para a mesma variável e calculou-se o indicador de oferta de infra-estrutura viária. Os resultados desses passos estão descritos nas próximas subseções.

##### 4.1. Análise espacial

As análises foram conduzidas por meio de ferramentas disponíveis no SIG *ArcView*, versão 3.2, utilizando-se também a extensão *Spacestat* (Anselin e Bao, 1997; Anselin e Smirnov, 1998) para o cálculo da matriz de proximidade espacial, além de uma planilha eletrônica. A matriz de proximidade espacial pode ser gerada por meio de duas alternativas relacionadas à condição de vizinhança: *Rook* ou *Queen*. Ramos e Silva (2006) mostram, em um estudo realizado em Portugal, que essas alternativas não produzem significativas diferenças, devido à configuração irregular dos limites dos municípios. Neste estudo, na geração da matriz de vizinhança consideraram-se os valores produzidos pela opção *Queen*.

As Figuras 1, 2 e 3 ilustram os resultados obtidos por meio da análise exploratória dos dados de densidade populacional nos anos de 1991, 1996 e 2000, respectivamente. Estas figuras, que representam mapas temáticos classificados segundo os quadrantes do gráfico de Moran (*Box Map*), apresentam, em cor clara, municípios pertencentes ao quadrante Q1, os quais possuem valores altos de densidade populacional cercados por vizinhos que também possuem valores altos. É importante observar que a maioria dos municípios dessa região homogênea coincide com os limites das regiões metropolitanas legais (Campinas, São Paulo e Baixada Santista), mostradas no mapa temático. Observam-se também, em cinza escuro, os municípios pertencentes ao quadrante Q3, os quais possuem valores baixos para a densidade populacional enquanto que os seus vizinhos possuem valores altos. Essa condição especial torna esses municípios potenciais ingressantes à região homogênea composta por aqueles inseridos em Q1. Além disso, constata-se por meio da análise das Figuras 1, 2 e 3 alguns municípios pertencentes ao quadrante Q4, os quais possuem um alto valor de densidade populacional e seus vizinhos possuem valores baixos. Esses municípios podem ter uma expressiva

importância local por concentrarem serviços que atendam os municípios vizinhos a eles. Dentre esses municípios estão: Presidente Prudente, Ourinhos, Bauru, Catanduva, São José do Rio Preto, Ribeirão Preto, Franca, Rio Claro, Sorocaba, São José dos Campos, Taubaté, Aparecida e Cruzeiro (ver Figura 1). Os índices de Moran obtidos para os respectivos períodos foram iguais a 0,543; 0,564 e 0,570, o que indica um razoável grau de autocorrelação espacial nos três casos.

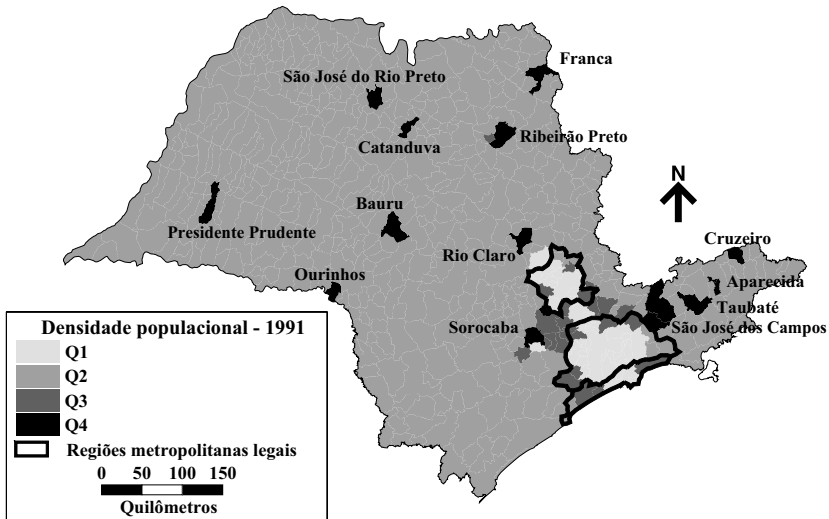


Figura 1: Box map representando a densidade populacional em 1991

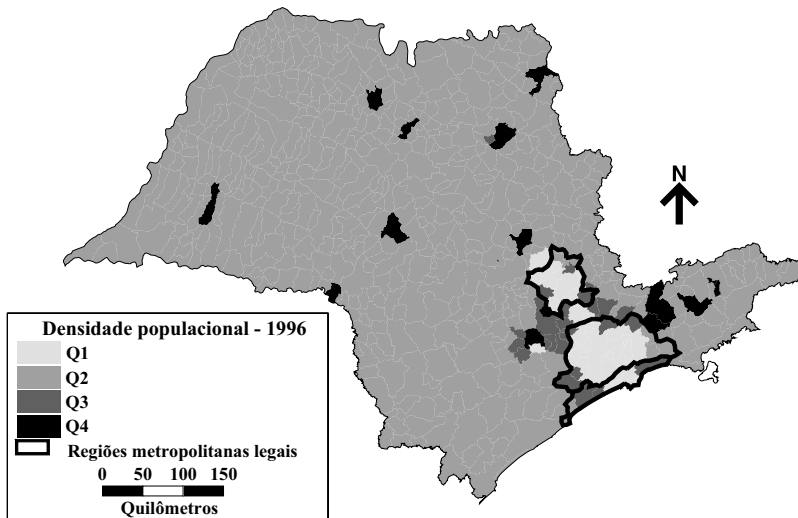


Figura 2: Box map representando a densidade populacional em 1996

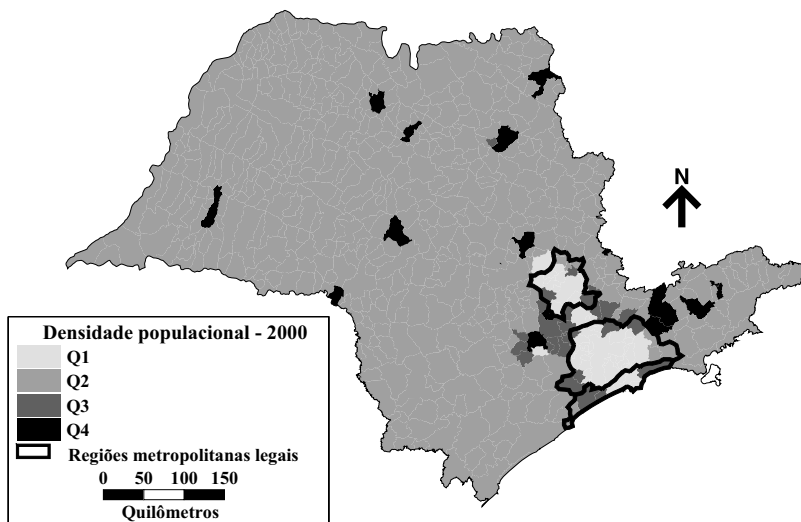


Figura 3: Box map representando a densidade populacional em 2000

#### 4.2. Modelo de previsão

O modelo de previsão desenvolvido é baseado nas transições observadas nos períodos de 1991, 1996 e 2000. Essas transições ao longo do tempo podem ser consideradas como mudanças de quadrantes do gráfico de Moran ao qual pertenciam os municípios. Motivados por algumas limitações de uma forma de modelagem que considerava regras fixas (Ramos e Silva, 2003a e 2003b), Ramos e Silva (2006) apresentaram uma proposta que utiliza redes neurais artificiais para a modelagem das regras de transição. Demonstraram assim que o modelo sofreu sensíveis diferenças, apresentando algumas vantagens como: a possibilidade de se utilizar valores de densidade populacional como valores de saída do modelo ao invés dos quadrantes e a possibilidade de se ter partes do conjunto de dados para validação e teste do modelo.

Nesse sentido, o modelo desenvolvido neste trabalho utiliza a ferramenta de redes neurais para a modelagem do comportamento dos municípios durante o período de 1991 a 2000. Com os dados de 1991 (entrada) e 1996 (saída), selecionou-se aleatoriamente 25% dos dados para teste, 25% para validação e os 50% restantes foram utilizados para o treinamento da rede. A rede neural utilizada foi do tipo *Multilayer Perceptron* (MLP) com algoritmo de *back-propagation*. Comparando-se os valores de teste estimados pelo modelo para o ano de 1996 com os valores reais, pôde-se verificar que o modelo apresentou um bom desempenho, sendo o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido nesta situação igual a 0,964.

A validação do modelo foi feita então aplicando-se os dados de 1996 como valores de entrada e os de 2000 como de saída do modelo, e todo o conjunto (100% dos dados) utilizado como valor de teste. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido nesta situação foi igual a 0,986. Após esse passo, aplicou-se o modelo com valores de entrada do ano de 2000 e estimaram-se



os valores de densidade populacional para o ano de 2006, cuja representação está no mapa temático da Figura 4. O índice de Moran obtido para essa situação foi igual a 0,605, também indicando um razoável grau de autocorrelação.

Analisando-se a Figura 4 e comparando-a com as Figuras 1, 2 e 3 observa-se que poucos municípios sofreram transição entre os quadrantes durante o período 1991-2006, talvez devido ao fato de que neste período a variação da taxa de ocupação populacional tenha sido baixa. Por outro lado, em um mesmo período, o estado apresenta uma diferença de densidade populacional muito grande, variando de aproximadamente 3 hab/km<sup>2</sup> até aproximadamente 10.000 hab/km<sup>2</sup>. Esta grande variação pode influenciar o modelo, o qual é obtido para uma situação global, e não evidenciar transições que possam ocorrer em determinados locais. Uma alternativa seria a aplicação do modelo para uma região próxima das regiões metropolitanas legais ou ainda, a incorporação de dados de população anteriores aos de 1991, na tentativa de se obter um modelo que possa refletir a evolução da ocupação do estado de São Paulo de forma mais fiel.

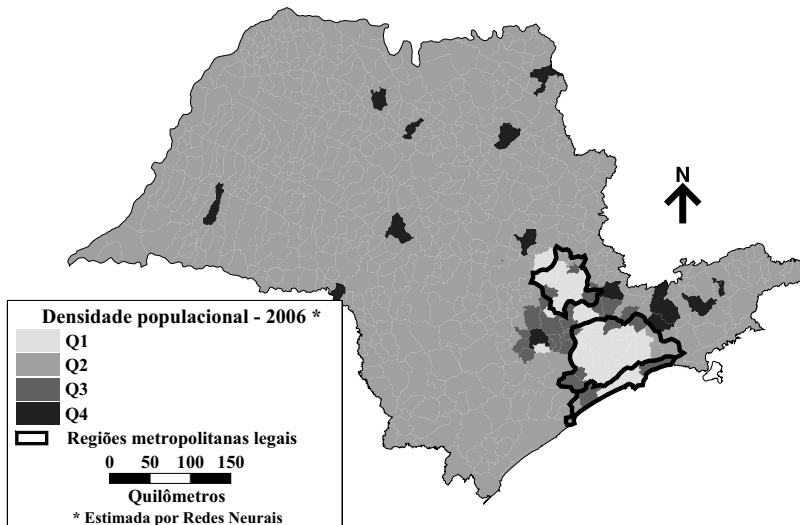


Figura 4: Box map representando a densidade populacional em 2006, estimada por Redes Neurais Artificiais

#### 4.3. Indicador de oferta de infra-estrutura viária

Conforme já discutido na metodologia, o indicador de oferta de infra-estrutura viária calculado neste estudo é o Indicador de cobertura espacial de estrutura de circulação viária, obtido por meio da Equação (1).

Apresenta-se na Figura 5 um mapa temático com os resultados obtidos por esse indicador, também representados em uma classificação segundo os quadrantes do gráfico de Moran. O índice de Moran obtido nesta situação é igual a 0,427, ainda razoável, embora mais baixo que aqueles obtidos com o indicador populacional. Observam-se nesta figura grandes regiões homogêneas pertencente ao Q1, indicando municípios que possuem boa oferta de infra-estrutura viária com vizinhos igualmente bem servidos de infra-estrutura viária. Embora

sejam identificados no mapa municípios com forte oferta de infra-estrutura viária cercados por municípios com fraca oferta (Q4), foram analisados aqui apenas os municípios situados no Q1, uma vez que o poder de atração de novas ocupações apenas se dá, neste caso, para regiões e não para municípios isolados.

Comparando-se a Figura 5 com a Figura 4, por exemplo, observa-se que alguns municípios das áreas homogêneas no Q1 da Figura 5 estão associados àqueles identificados no Q4 da Figura 4. Isto demonstra que parte daqueles municípios citados anteriormente no item 4.1, a saber, Ourinhos, São José do Rio Preto (ou Catanduva), Ribeirão Preto e Rio Claro, constituem pólos de concentração populacional e estão servidos com uma boa oferta de infra-estrutura viária, apontando-os como potenciais núcleos de novas regiões metropolitanas a serem consolidadas em médio prazo no estado de São Paulo.

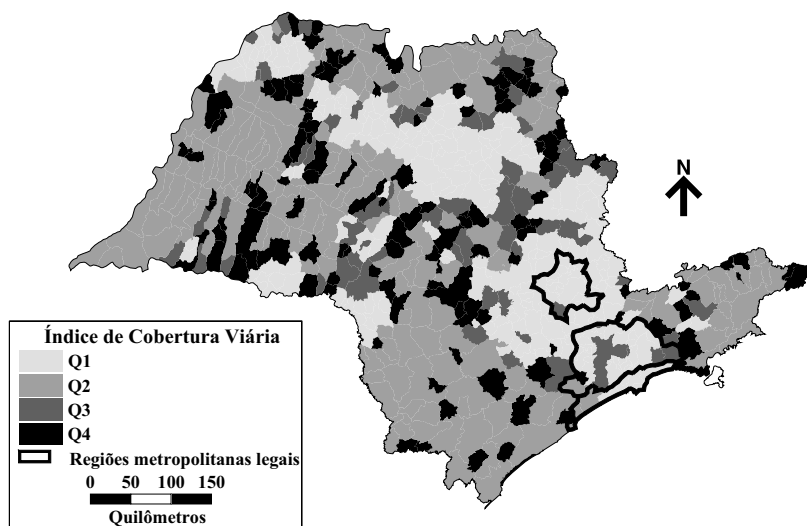


Figura 5: Box map representando indicador de cobertura espacial de estrutura de circulação viária

## 5. CONCLUSÕES

Ao testar a viabilidade, em um estudo de caso realizado no estado de São Paulo, Brasil, da combinação de indicadores de oferta de infra-estrutura viária e populacional utilizando técnicas de análise espacial e modelagem espacial, para a identificação de regiões metropolitanas, algumas conclusões relevantes foram obtidas.

Inicialmente, analisando-se as distribuições espaciais dos valores de densidade populacional por meio da sua representação em mapas temáticos classificados segundo os quadrantes do gráfico de Moran (ou *Box Map*), podem ser observados alguns municípios pertencentes ao quadrante Q3, o qual indica que estes possuem valores de densidade populacional baixos em relação à média, e seus vizinhos, valores altos em relação à média. Esses municípios são considerados como potenciais ingressantes no grupo daqueles municípios pertencentes ao quadrante Q1 e, conseqüentemente, fazendo parte das atuais regiões metropolitanas de Campinas, de São Paulo e da Baixada Santista. Por outro lado, analisando-se a distribuição

espacial desses municípios inseridos no Q3 por meio do indicador de oferta de infra-estrutura viária (também representado por um mapa temático segundo os quadrantes do gráfico de Moran), constata-se uma forte associação entre os mesmos, inclusive com alguns municípios já pertencendo ao quadrante Q1 do indicador de oferta de infra-estrutura viária e ao redor das regiões metropolitanas legais e consolidadas. Este fato permite inferir uma ocupação do território apontada para o interior e não para os eixos São Paulo – Rio de Janeiro ou São Paulo – Curitiba.

No caso deste padrão se confirmar, espera-se em médio prazo uma ampliação da região metropolitana de Campinas, envolvendo entre outros municípios, o de Rio Claro, que aparece no estado de São Paulo como um pólo forte em termos de distribuição populacional se comparado à sua vizinhança. Além disso, pode-se esperar também a criação de novas regiões metropolitanas nucleadas provavelmente pelos municípios de São José do Rio Preto (ou Catanduva), Ribeirão Preto e Ourinhos. Estas hipóteses podem ser verificadas por meio das Figuras 4 e 5 em que os referidos municípios têm forte expressão populacional local (pertencem ao quadrante Q4) e possuem boa oferta de infra-estrutura viária com municípios igualmente bem servidos de infra-estrutura (quadrante Q1).

Com relação ao modelo de previsão gerado neste estudo pôde-se observar que durante o período considerado (1991 a 2000) o estado de São Paulo não sofreu sensíveis alterações em termos de distribuição populacional, o que acabou refletindo em pequenas alterações para o ano de 2006. Nesse sentido, há algumas recomendações na aplicação da modelagem espacial para este caso: a incorporação de dados anteriores ao ano de 1991, verificando-se desta forma a sensibilidade do comportamento das redes neurais em face de períodos em que historicamente houve maior variação da taxa de ocupação territorial no estado. Outra alternativa seria a aplicação da modelagem espacial em uma análise regional dentro do próprio estado, testando-se da mesma forma a sensibilidade do modelo para a previsão de valores de densidade populacional em períodos futuros.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem às agências CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) o apoio concedido em diferentes fases da pesquisa que deu origem a este trabalho.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Anselin, L. (1995) Local Indicators of Spatial Association – LISA. *Geographical Analysis*, v. 27, p. 93-115.
- Anselin, L. e S. Bao (1997) Exploratory Spatial Data Analysis Linking SpaceStat and ArcView. In: Fisher M. e A. Getis (eds.) *Recent Developments in Spatial Analysis*. Springer-Verlag, Berlin.
- Anselin, L. e O. Smirnov (1998) *The SpaceStat Extension for ArcView 3.0*. Regional Research Institute, West Virginia University, Morgantown.
- Câmara, G.; M. S. Carvalho; O. G. Cruz e V. Correa (2002) Análise de Dados de Áreas. In: Fuks S.; M. S. Carvalho; G. Câmara e A. M. V. Monteiro (eds.) *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Divisão de Processamento de Imagens, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/> Acesso em 11 de set. de 2004.
- Cressie, N. (1993) *Statistics for Spatial Data*. Wiley, New York.
- EMPLASA (2002) *Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano*. Disponível em: [www.emplasa.sp.gov.br/](http://www.emplasa.sp.gov.br/) Acesso em 7 de abril de 2006.
- Ferrão, J.; D. Rodrigues e F. Vala (2002) *As Regiões Metropolitanas Portuguesas no Contexto Ibérico*. DGOTDU, Lisboa.

- Freireira, M. J. e A. R. Rosado (1999) As Grandes Áreas Urbanas Portuguesas. Conceitos e Delimitação Espacial. In: Pereira M. (eds.) *Grandes Áreas Urbanas. Reorganização Institucional e Territorial. O Caso da Área Metropolitana de Lisboa*. Centro de Estudos de Geografia e Planeamento, Universidade Nova de Lisboa.
- GEIPOP (2000) *Anuário Estatístico dos Transportes – 1995*. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes, Brasília, DF. Disponível em: [www.geipot.gov.br/IndexG.htm](http://www.geipot.gov.br/IndexG.htm) Acesso em 7 de abril de 2006.
- Lacour, C. e S. Puissant (1999) *La Métropolisation. Croissance, Diversité, Fractures*. Anthropos, Paris.
- Lopes, S. B. (2005) *Efeitos da Dependência Espacial em Modelos de Previsão de Demanda por Transporte*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 137 p.
- Magalhães, M. T. Q.; G. L. Teixeira e Y. Yamashita (2004) Indicadores de Cobertura Espacial para Diagnóstico da Dotação de Estrutura de Circulação Rodoviária Brasileira. *Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino de Transportes*, ANPET, Florianópolis, v. II, p. 880-891.
- Manzato, G. G.; A. J. Soares e A. N. R. Silva (2006) Aglomerações Urbanas e Oferta de Transportes no Estado de São Paulo, Brasil. Artigo aceito para apresentação e publicação nos *Anais do PLURIS2006 - 2ª Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado, Sustentável*.
- Metropolitan Area Standards Review Committee (2000) Final Report and Recommendations From the Metropolitan Area Standards Review Committee to the Office of Management and Budget Concerning Changes to the Standards for Defining Metropolitan Areas. *Federal Register*, v. 65, n. 163, 22 de agosto.
- Monteiro, J. L. (2000) Caracterização dos Espaços Urbanos na RLVT: O Contributo da Análise Discriminante. *Revista de Estudos Regionais – Região Lisboa e Vale do Tejo*, n. 1, p. 21-46.
- Neves, M. C.; F. R. Ramos; E. C. G. Camargo; G. Câmara e A. M. Monteiro (2000) Análise Exploratória Espacial de Dados Sócio-Econômicos de São Paulo. *Anais do GIS Brasil 2000*, Disponível em: [www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/marcos\\_gisbrasil2000.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/marcos_gisbrasil2000.pdf) Acesso em: 11 setembro 2004.
- NUREC (1994) Atlas of Agglomerations in the European Union. *Network on Urban Research in the European Union*, Duisburg.
- Office of Management and Budget (1998) Alternative Approaches to Defining Metropolitan and Non-metropolitan Areas. *Federal Register*, v. 63, n. 244, 21 de dezembro.
- Office of Management and Budget (1999) Recommendations From the Metropolitan Area Standards Review Committee to the Office of Management and Budget Concerning Changes to the Standards for Defining Metropolitan Areas. *Federal Register*, v. 64, n. 202, 20 de outubro.
- Office of Management and Budget (2000) Standards for Defining Metropolitan and Micropolitan Statistical Areas. *Federal Register*, v. 65, n. 249, 27 de dezembro.
- Ramos, F. R. (2002) *Análise Espacial de Estruturas Intra-urbanas: o Caso de São Paulo*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, SP. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/teses/fred/> Acesso em: 11 de set. de 2004.
- Ramos, R. A. R. e A. N. R. Silva (2003a) A Data-driven Approach for the Definition of Metropolitan Regions. *CD-ROM Proceedings of the 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management – Reviewed Papers*, Sendai, Japão.
- Ramos, R. A. R. e A. N. R. Silva (2003b) Um Contributo para a Delimitação da Área Metropolitana do Noroeste de Portugal. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, p. 61-82.
- Ramos, R. A. R. e A. N. R. Silva (2006) A Spatial Analysis Approach for the Definition of Metropolitan Regions – The Case of Portugal. *Environment and Planning B*. No prelo.
- Ramos, R. A. R.; A. N. R. Silva e V. P. Miranda (2004) Comparação de Metodologias de Análise Espacial para Definição de Zonas Urbanas Homogêneas. Disponível em: [www.igeo.pt/IGEO/portugues/servicos/CDI/biblioteca/PublicacoesIGP\\_files/ESIG\\_2004/p050.pdf](http://www.igeo.pt/IGEO/portugues/servicos/CDI/biblioteca/PublicacoesIGP_files/ESIG_2004/p050.pdf) Acesso em: 12 de set. de 2004.
- Santos, V. S. (2005) *Modelagem da Geração e Distribuição de Viagens para Escolas utilizando Celular Automata e Avaliação Multicritério*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

---

#### Endereço dos autores:

Gustavo Garcia Manzato, aluno do programa de Pós Graduação em Transportes (Mestrado) ([gusmanzato@yahoo.com.br](mailto:gusmanzato@yahoo.com.br))  
 Antônio Nelson Rodrigues da Silva,  
 Professor Associado ([anelson@sc.usp.br](mailto:anelson@sc.usp.br))

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
 Escola de Engenharia de São Carlos – Dep. de Transportes  
 Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Centro  
 13566-590, São Carlos - SP, Brasil  
 Fone: +55 16 33739595 Fax: +55 16 33739602