

# UMA ESTRUTURA CONCEITUAL PARA A DEFINIÇÃO DE REGIÕES URBANAS HOMOGÊNEAS

**Gustavo Garcia Manzato**  
**Antônio Nélon Rodrigues da Silva**

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar a estrutura conceitual de uma metodologia para a definição de regiões urbanas homogêneas 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 apresentada por meio de diversos modelos espaciais que procuram avaliar de forma conjunta a inter-relação entre uso e ocupação do solo e oferta de transportes. Com relação a outras propostas já estudadas, a metodologia aqui apresentada pode oferecer um desempenho superior, com resultados mais satisfatórios por meio de ferramentas e conceitos mais robustos, permitindo a incorporação de variáveis distintas e capacidade de previsão para período futuros.

## ABSTRACT

The objective of this work is to introduce the conceptual framework of a methodology for the definition of homogeneous urban regions. The proposed approach is based on indicators of population distribution and transportation infrastructure supply, which are combined and analyzed with two techniques of spatial analyses: spatial statistics and spatial modeling. Different model structures are developed and presented as alternatives to represent the mutual relationships between the spatial distribution of population and transportation infrastructure. When compared to other methodologies previously developed, the proposed approach is likely to produce better results, given it contains several advanced tools and robust theoretical concepts. Those characteristics allow the inclusion of distinct variables and produce models that are reliable even for future estimations.

## 1. INTRODUÇÃO

Citadas por Gouvêa (2005), as estatísticas da ONU (Organização das Nações Unidas) de 2000 revelam que dentre as nações mais populosas do mundo (China, Índia, EUA e Indonésia, em seqüência), o Brasil ocupa a quinta posição, com uma taxa de crescimento demográfico da ordem de 1,6 %, atrás apenas da Nigéria (2,6 %), do Paquistão (2,5 %) e de Bangladesh (2,1 %). Além disso, a exemplo de outros países, observa-se que o crescimento brasileiro se verifica basicamente nas áreas urbanas, que abrigam mais de 81 % da população total do país, segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Esse crescimento demográfico reflete um intenso processo de ocupação das áreas urbanas.

A crescente urbanização não somente do Brasil, mas de outras regiões do mundo, constitui uma das mais evidentes causas do aumento de estudos e estatísticas urbanas observado nos últimos anos. Os planejadores enfrentam o desafio de elaborar modelos capazes de representar as inter-relações presentes nessas estruturas multidimensionais e complexas. É importante observar que essa questão não se restringe a apenas um município. O processo de ocupação do território muitas vezes acaba desenvolvendo regiões adjacentes e contínuas, levando à formação de grandes áreas urbanas, aqui tratadas de maneira geral como regiões urbanas homogêneas (RUH).

Nesse contexto reside um dos maiores desafios para os planejadores e administradores urbanos: a definição dessas RUH. Dentre os diversos critérios que podem ser adotados, poderia se considerar o aspecto político-administrativo. Entretanto, para os processos de planejamento, esse critério muitas vezes não reflete a realidade que envolve as questões resultantes da junção dos municípios. Um outro critério, sugerido nos Estados Unidos, se

refere aos fluxos de viagens observados entre as regiões que compõem a área urbana (*Office of Management and Budget*, 1998, 1999 e 2000). Entretanto, dados dessa natureza são difíceis de serem obtidos na maioria das cidades, particularmente no Brasil. Uma alternativa, então, seria a utilização da distribuição populacional como forma de se definir as RUH. A densidade populacional é um bom indicador para a identificação de RUH, conforme pode ser verificado em Ramos e Silva (2003a, 2003b e 2007) e Ramos *et al.* (2004). No entanto, essa última abordagem pode não refletir de maneira adequada as inter-relações presentes nessas áreas urbanas. Sabe-se que existe uma forte inter-relação entre uso e ocupação do solo e a oferta de infra-estrutura, principalmente a de transportes, como pode ser observado em Lemos *et al.* (2004 e 2005) e em Silva e Vala (2001).

Uma alternativa adicional possível foi apresentada por Manzato *et al.* (2006), a qual se baseava na idéia de que a adoção do critério relacionado à densidade populacional, como substituto daquele baseado nos fluxos de viagens, 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. Assim, na ausência de dados de fluxos de viagens, uma forma de identificar RUH seria a partir de dados de oferta de infra-estrutura de transportes ou, mais especificamente, através da utilização de indicadores que representem essa oferta. Em síntese, a proposta de Manzato *et al.* (2006) seria uma combinação de indicadores de oferta de infra-estrutura e populacional para a identificação de regiões urbanas homogêneas.

Manzato e Silva (2006), em seqüência, apresentaram uma metodologia que contemplava a questão de combinação desses indicadores. A metodologia se baseava em uma comparação direta, mas somente visual, dos indicadores de oferta de infra-estrutura viária e populacional, os quais eram representados em mapas temáticos classificados segundo os quadrantes do gráfico de Moran. Entretanto, tanto essa proposta como a anterior apresentaram limitações quanto à capacidade de previsão e incorporação de outras variáveis, que poderiam auxiliar o processo de definição de regiões urbanas homogêneas.

Nesse sentido, o trabalho aqui proposto apresenta uma contribuição para essa questão, embora ainda apenas de forma conceitual, trazendo novas alternativas para a combinação dos indicadores de oferta de infra-estrutura viária e populacional. A proposta utiliza conceitos e técnicas que procuram contornar as limitações inerentes à comparação direta apresentada por Manzato *et al.* (2006) e Manzato e Silva (2006), com base em duas ferramentas da análise espacial, a saber: a estatística espacial e a modelagem espacial. Os fundamentos teóricos sobre a estatística espacial e a modelagem espacial estão apresentados na seção 2. Em seguida, na seção 3, está a proposta para a definição de RUH's propriamente dita. Na seção 4 apresenta-se uma análise e discussão dessa proposta e este trabalho finaliza com algumas considerações gerais, comentadas na seção 5.

## **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Como mencionado anteriormente, a metodologia proposta no presente estudo para a definição de regiões urbanas homogêneas se baseia na combinação de indicadores de oferta de infra-estrutura viária e populacional, utilizando recursos de análise espacial. Nesse sentido, apresenta-se a seguir algumas referências teóricas sobre a estatística espacial e a modelagem

espacial, bem como a formulação do indicador de oferta de infra-estrutura de transportes aqui adotado.

## 2.1. Estatística espacial

Uma das ferramentas utilizadas no estudo aqui apresentado é a estatística espacial, cujo aspecto fundamental é a caracterização da dependência espacial, mostrando como os valores estão correlacionados sobre o território. Essa ferramenta engloba, dentre outras técnicas, a análise exploratória de dados espaciais (ESDA, em inglês, *Exploratory Spatial Data Analysis*).

Na técnica 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.

Além dos índices presentes nas técnicas de ESDA, 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).

A aplicação das ferramentas de estatística espacial pode ser encontrada em diversas áreas de estudo. No caso específico de estudos envolvendo planejamento urbano e regional e de transportes poderiam ser citados alguns trabalhos, como por exemplo, Ramos e Silva (2003a, 2003b e 2007), Queiroz (2003), Teixeira (2003), Ramos *et al.* (2004), Krempi (2004), Lopes (2005), Manzato *et al.* (2006), Manzato e Silva (2006) e Grigolon *et al.* (2007). No presente

estudo, a técnica de ESDA é aplicada para se determinar as variáveis que serão utilizadas nos modelos espaciais apresentados pela metodologia proposta, discutida na seção 3.

## 2.2. Modelagem espacial

A modelagem espacial é outra vertente da análise espacial que se integra à etapa de análise confirmatória de dados espaciais e que também utiliza as ferramentas de estatística espacial, apresentando grande utilidade para o planejamento urbano e regional pela possibilidade de se gerar cenários múltiplos de apoio à decisão. A explicação para o seu sucesso se deve à correspondência das simulações desenvolvidas com alguns dos fenômenos estudados e à possibilidade de se compreender dinâmicas entre elementos (Silva, 2002). Webster e Wu (2001) salientam que a modelagem dinâmica, ao contrário dos modelos convencionais, é capaz de representar os comportamentos complexos presentes no contexto urbano, permitindo a caracterização de fenômenos espaço-temporais de forma dinâmica. Nesse sentido, um grupo de modelos que está presente em algumas das mais recentes aplicações são os Autômatos Celulares (CA, do inglês *Cellular Automata*).

O desenvolvimento dos CA's está associado principalmente a três investigadores: von Neumann e Morgenstern's, com a publicação da teoria dos jogos e comportamento econômico em 1944, e Standislav Ulman, na década de 1950, que sugeriu a possibilidade de se encontrar comportamentos de CA em regras locais gerando padrões globais (Silva, 2002; Yeh e Li, 2002). Nesse sentido, conforme Silva (2002), o conceito principal da utilização de CA é a possibilidade de se extrair padrões regionais através do comportamento local de um reduzido número de elementos. Da observação desses comportamentos individuais extraem-se grupos que categorizam padrões, formas e intensidades no espaço e no tempo. De forma semelhante ao mundo real, em que o tempo e as dinâmicas entre elementos assumem características que variam de local para local, sendo imprevisíveis e complexas, no CA cada elemento comporta-se individualmente e os resultados são imprevisíveis, assumindo ao nível global, padrões diversos.

É importante observar que os CA apresentam algumas propriedades importantes. Em geral, pelo menos cinco características constituem um modelo CA: geometria da rede, estados, vizinhança, regras de transição e seqüência de períodos temporais discretos. Nesse sentido, conforme apresentado por Santos (2005) e Santos *et al.* (2005) a seguir, é relativamente fácil generalizar essas características para o estudo urbano.

A *geometria da rede*, que se refere à sua forma e dimensão, pode ser considerada como os territórios urbanos. De maneira geral é utilizada uma geometria regular com células quadradas, entretanto a utilização de redes irregulares contribuiria para o realismo dos modelos, uma vez que a maioria dos objetos urbanos não é regular. O *estado da célula* pode representar os atributos do espaço territorial, como uso do solo e densidade populacional. Desta forma permite-se caracterizar e avaliar qualquer atributo desejado nos modelos de CA. Com relação à *vizinhança*, esta se refere à própria célula e um conjunto de células adjacentes que podem interagir entre si. Os dois tipos de vizinhança mais utilizados são a circular e a de Moore (quando oito células formam um quadrado em torno da célula). Finalmente, as *regras de transição* que são determinadas para refletir como ocorrem os fenômenos no mundo real, podem ser interpretadas como algoritmos na simulação, ou seja, definem as condições futuras da célula especificando o seu comportamento observado no tempo. Há diferentes abordagens com relação às regras de transição, conforme se resume a seguir:

- Determinística: abordagem tradicional dos modelos de CA, destaca-se pela sua simplicidade e por permitir a reprodução plena das suas modelagens;
- Estocástica: abordagem em que é introduzida uma perturbação aleatória com o objetivo de reproduzir aspectos não explicáveis pelos modelos;
- Obtida por redes neurais artificiais: abordagem em que os valores dos parâmetros são determinados automaticamente a partir de treinamento da rede neural com os dados. Por um lado isso facilita a simulação, diminuindo a necessidade de dados, no entanto torna muito difícil conhecer as regras de transição adotadas. É importante observar que esta abordagem é determinística na adoção dos pesos das conexões entre os nós, contudo o processo de treinamento incorpora, de alguma maneira, a distribuição estocástica dos dados;
- *Case-based reasoning* (Raciocínio baseado em casos): abordagem em que o processo de resolução de novos problemas é baseado em soluções de problemas anteriores similares, compiladas em banco de dados de exemplos (Li e Liu, 2006).

Com relação à abordagem em que as regras de transição são obtidas por meio de redes neurais, esta tem sido muito utilizada devido ao seu alto desempenho no tratamento dos dados, se comparado aos modelos estatísticos convencionais. As redes neurais são robustas e tolerantes a erros, particularmente em dados que apresentam ruídos. Além disso, elas são especialmente adaptadas para o reconhecimento de padrões.

Em uma comparação, Ramos e Silva (2003a e 2003b) apresentam um estudo em que são identificadas para cada célula as transições ocorridas ao longo do tempo e, assim, se estabelecem regras de transição por meio de uma abordagem determinística utilizando uma estrutura do tipo “se... então... senão”. Em uma outra proposta apresentada (Ramos e Silva, 2007) os autores sugerem a utilização de redes neurais artificiais para o estabelecimento das regras de transição, mostrando que os resultados obtidos foram superiores a aqueles obtidos pela abordagem determinística testada anteriormente.

As informações referentes à modelagem espacial são aplicadas no presente estudo de forma a se construir os modelos espaciais que combinam os indicadores de oferta de transportes e populacional, proposta pela metodologia descrita em maiores detalhes na seção 3.

### **2.3. Indicador 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 apresenta resultados mais satisfatórios é o Indicador de cobertura espacial de estrutura de circulação viária, proposto por Magalhães *et al.* (2004), já utilizado em estudos anteriores como em Manzato e Silva (2006) e aqui sugerido também. 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).

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

Em que,

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

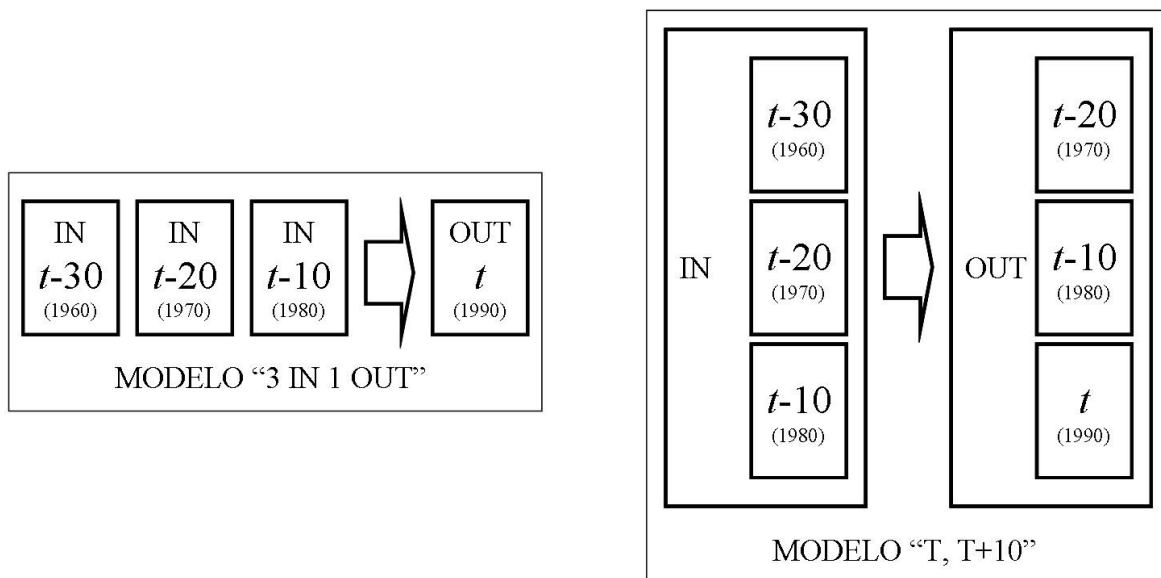
### 3. PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA A DEFINIÇÃO DE REGIÕES URBANAS HOMOGÊNEAS

A metodologia aqui proposta para a definição de regiões urbanas homogêneas se baseia na combinação de dois indicadores: a densidade populacional e o indicador de cobertura espacial de estrutura de circulação viária, proposto por Magalhães *et al.* (2004). Por meio desses indicadores, combinados com ferramentas de estatística espacial e modelagem espacial, seriam construídos modelos espaciais que procurariam avaliá-los de forma conjunta e, assim, permitir a definição de regiões urbanas homogêneas.

Além dos indicadores propriamente ditos, os modelos devem apresentar algumas variáveis adicionais, importantes no processo de modelagem espacial por estarem relacionadas às propriedades dos CA's. Essas variáveis, bem como os indicadores seriam: densidade populacional de cada município, densidade populacional média dos municípios vizinhos a cada um deles, quadrante do gráfico de Moran a que pertence cada um dos municípios, número de municípios vizinhos em cada um dos quadrantes Q1, Q2, Q3 e Q4 e o indicador de oferta viária. É importante observar que o indicador de oferta viária pode ser introduzido nos modelos não diretamente pelo seu valor, mas por meio do cálculo de uma taxa de variação que representa a oferta ao longo do período considerado na estrutura dos modelos. Essa taxa de variação poderia ainda ser padronizada no intervalo [0,1;0,9], garantindo a não ocorrência de valores nulos.

A respeito da estrutura dos modelos espaciais, primeiramente, são necessárias variáveis de entrada, que alimentam os modelos, e de saída, que expressam um fenômeno estudado a partir dos modelos. Segundo, dois tipos de modelos poderiam ser testados com relação à sua estrutura. O primeiro, que pode ser denominado "3 IN 1 OUT", seria construído com os " $n$ " registros referentes aos municípios, em que os valores de entrada do modelo seriam as variáveis de três períodos subseqüentes (como por exemplo:  $t-30$ ,  $t-20$  e  $t-10$ , para dados obtidos a cada dez anos) e os valores de saída, as variáveis referentes a um período (como por exemplo,  $t$ ). O segundo tipo de modelo, que pode ser denominado "T, T+10", apresentaria apenas um período de entrada e um de saída. Entretanto, seria construído de forma que as informações de dois ou mais períodos possam ser incorporadas ao modelo, ou seja, os " $n$ " registros seriam alinhados verticalmente de maneira que, ao invés de se ter um modelo com apenas " $n$ " registros, poderiam ser obtidos modelos com " $n \times 2$ ", " $n \times 3$ ", " $n \times 4$ " etc. registros, de acordo com o número de períodos desejados ou disponíveis. A Figura 1 ilustra um esquema desses tipos de modelos, apresentando entre parênteses dados de períodos fictícios, a título de exemplo.

É importante observar também que os modelos são aqui propostos para dados obtidos a cada dez anos, de acordo com a periodicidade dos Censos Demográficos realizados pelo IBGE. Entretanto, é possível a obtenção e análise de resultados para outros intervalos, desde que sejam efetuadas as devidas adaptações com relação aos termos  $t-30$ ,  $t-20$  e  $t-10$ . Por exemplo, se forem obtidos dados a cada cinco anos, esses termos deveriam ser:  $t-15$ ,  $t-10$  e  $t-5$ . Além disso, o modelo “T, T+10” seria denominado “T, T+5”.



**Figura 1:** Esquema ilustrativo dos tipos de modelos propostos

A partir dessas informações e considerando as variáveis mencionadas anteriormente, alguns modelos podem ser propostos combinando a sua estrutura e as variáveis, conforme se pode observar na Tabela 1. A respeito de cada uma das variáveis dos modelos espaciais apresentados na Tabela 1, é importante relacionar cada uma delas ao seu significado, conforme é mostrado a seguir: densidade populacional de cada município ( $DP_i$ ), quadrante do gráfico de Moran referente à densidade populacional ao qual pertence cada município ( $Q_i DP$ ), quadrante do gráfico de Moran referente ao indicador de oferta viária ao qual pertence cada município ( $Q_i Oferta$ ), densidade populacional média dos vizinhos adjacentes a cada município ( $DP_j$ ), número de vizinhos em cada quadrante Q1, Q2, Q3 e Q4 referente à densidade populacional ( $N^\circ Viz Q1_i DP$ ,  $N^\circ Viz Q2_i DP$ ,  $N^\circ Viz Q3_i DP$  e  $N^\circ Viz Q4_i DP$ ) e a taxa de variação do indicador de oferta viária para cada município, padronizada entre 0,1 e 0,9 ( $\Delta oferta_i$ ).

**Tabela 1:** Propostas de estruturas de modelos espaciais combinando diversas variáveis

MODELOS		VARIÁVEIS	
I	3 IN 1 OUT	Densidade populacional	Entrada: $DP_i + Q_i DP + DP_j + N^{\circ} \text{ Viz } Q1_i DP + N^{\circ} \text{ Viz } Q2_i DP + N^{\circ} \text{ Viz } Q3_i DP + N^{\circ} \text{ Viz } Q4_i DP$
II	T, T+10		Saída: $DP_i$
III	3 IN 1 OUT	Densidade populacional + Oferta viária	Entrada: $DP_i + Q_i DP + DP_j + N^{\circ} \text{ Viz } Q1_i DP + N^{\circ} \text{ Viz } Q2_i DP + N^{\circ} \text{ Viz } Q3_i DP + N^{\circ} \text{ Viz } Q4_i DP + \Delta \text{oferta}_i$
IV	T, T+10		Saída: $DP_i$
V	3 IN 1 OUT	<i>Quadrantes</i> Densidade populacional + Oferta viária	Entrada: $Q_i DP + Q_i \text{ Oferta}$
VI	T, T+10		Saída: $Q_i DP$
VII	T, T+10 (seleção)		

Como pode ser observado na Tabela 1, diversas combinações entre os indicadores com suas respectivas variáveis e a estrutura dos modelos podem ser efetuadas. Embora o foco principal da proposta aqui apresentada seja a combinação de indicadores populacionais e de oferta de transportes, é interessante avaliar como seria o desempenho dos modelos espaciais que não incorporam a oferta viária, como sugerem os modelos I e II. Esta abordagem consideraria apenas a dinâmica populacional na evolução de áreas urbanas ao longo do tempo. Isto significa avaliar qual a influência da oferta de infra-estrutura viária sobre a formação das RUH. Também é importante observar algumas características a respeito dos modelos V, VI e VII. Estes modelos são propostos para serem construídos apenas com as informações sobre os quadrantes referentes ao gráfico de Moran para a densidade populacional e para o indicador de cobertura espacial de estrutura de circulação viária. A idéia destes modelos é representar, em uma estrutura de CA, a metodologia proposta por Manzato e Silva (2006), a respeito de uma comparação direta (visual) dos indicadores mencionados. Com relação ao modelo VII, este seria construído com uma seleção dos registros (municípios) que sofreram alguma alteração (transição) no quadrante do gráfico de Moran referente à densidade populacional. Esse modelo se justifica quando os dados em estudo apresentam a maior parte dos registros sem sofrer alguma transição durante o período considerado, o que poderia induzir um resultado diferente da realidade, como por exemplo, a não detecção de transições.

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A proposta de metodologia apresentada para a definição de RUH se constitui em uma estrutura conceitual. Embora seja interessante uma aplicação em um estudo de caso, obtendo-se resultados a partir de dados reais, é importante avaliar também, mesmo de maneira teórica, como seria essa aplicação. Assim, apresenta-se a seguir os passos necessários para uma aplicação, resumidos na Tabela 2. Entretanto, podem surgir dificuldades em algumas das etapas, as quais são apresentadas na Tabela 3 juntamente com possíveis formas de contorno para os problemas relacionados.



**Tabela 2:** Etapas necessárias para uma aplicação da metodologia

ETAPAS DE MODELAGEM	OBJETIVOS DA ETAPA	PASSOS NECESSÁRIOS PARA ATINGIR OS OBJETIVOS
Aquisição de dados	Obter os dados necessários para a aplicação prática	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Obtenção de bases geográficas com os limites municipais</li><li>2. Obtenção de bases geográficas referentes à malha rodoviária</li><li>3. Obtenção da população municipal</li></ol>
Determinação de variáveis	Calcular os indicadores de oferta viária e populacional Calcular as variáveis adicionais	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Cálculo da densidade populacional</li><li>2. Cálculo do indicador de oferta viária segundo a Equação 1</li><li>3. Padronização do indicador de oferta viária entre 0,1 e 0,9</li><li>4. Cálculo da variação da oferta viária (indicador) de acordo com a estrutura do modelo adotada</li><li>5. Cálculo das variáveis adicionais, de acordo com o modelo usado</li></ol>
Construção dos modelos espaciais	Organizar as informações referentes às variáveis de acordo com os modelos	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Seleção das variáveis a serem utilizadas em cada modelo</li><li>2. Montagem dos modelos de acordo com a estrutura adotada</li></ol>
Determinação das regras de transição	Estabelecer relações entre as variáveis de entrada e de saída	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Seleção da forma de obtenção das regras de transição</li><li>2. Preparação dos dados para a forma adotada</li><li>3. Implementação em ambiente computacional ou aquisição de pacotes previamente programados</li></ol>
Avaliação dos resultados obtidos	Fornecer indicadores para a avaliação dos resultados estimados, comparando-os com os dados reais	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Obtenção de dados estimados pelo modelo</li><li>2. Cálculo de coeficientes que medem o grau de ajuste entre os dados reais e estimados (como por exemplo, o <math>R^2</math>)</li><li>3. Determinação dos quadrantes do gráfico de Moran para os valores estimados e comparação com os quadrantes dos valores reais (porcentagem de erros e acertos parciais e globais)</li></ol>
Formas de representação dos resultados	Fornecer alternativas gráficas para a visualização dos resultados	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Obtenção dos dados estimados pelos modelos</li><li>2. Representação dos resultados em mapas temáticos</li></ol>
Escolha de um modelo espacial	Oferecer medidas para a escolha de um ou outro modelo	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Escolher o modelo de acordo com o fenômeno que se deseja conhecer os valores estimados:<ol style="list-style-type: none"><li>a. Se o objetivo for estimar a densidade populacional, selecionar dentre os modelos I a IV (é necessário determinar as variáveis adicionais)</li><li>b. Se o objetivo for apenas a representação de maneira simples e rápida da densidade populacional, classificada de acordo com os quadrantes do gráfico de Moran, escolher dentre os modelos V a VII (não é possível conhecer a densidade populacional estimada)</li></ol></li></ol>

**Tabela 3:** Análise preliminar de possíveis dificuldades e sugestão de algumas formas de contorno

ETAPAS DE MODELAGEM	POSSÍVEIS DIFICULDADES	FORMAS DE CONTORNO
Aquisição de dados	Dados total ou parcialmente indisponíveis em formato digital	Aquisição dos dados em relatórios técnicos, tabelas, mapas etc. Digitalização das informações a partir dos dados analógicos
Determinação de variáveis	Desconhecimento das fronteiras das áreas urbanizadas	Consideração da população uniformemente distribuída sobre o município. Cálculo da densidade considerando a área municipal
	Indisponibilidade de <i>software</i> com ferramentas específicas de análise espacial	Uso de planilhas eletrônicas aliadas a <i>software</i> com disponibilidade parcial das ferramentas de análise espacial Exemplo: o <i>software</i> ArcView, versão 3.2, com a extensão <i>Spatial Analysis</i> .
Determinação das regras de transição	Adoção de regras de transição que representem efetivamente o fenômeno estudado	Uso de Redes Neurais Artificiais ou outras ferramentas e técnicas específicas para um determinado fenômeno ( <i>case-based reasoning</i> , por exemplo)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma metodologia para a definição de regiões urbanas homogêneas combinando indicadores de oferta de infra-estrutura viária e populacional, por meio de duas ferramentas de análise espacial: a estatística espacial e a modelagem espacial.

Em estudos anteriores a respeito desse tema, como por exemplo, em Manzato *et al.* (2006) e Manzato e Silva (2006), a metodologia proposta nesses trabalhos considerava uma comparação direta (visual) entre os indicadores populacionais e de oferta de infra-estrutura de transportes. No entanto, análises baseadas nessa metodologia podem ser limitadas, uma vez que variáveis importantes no processo de combinação dos indicadores não são consideradas ou ainda, a capacidade de previsão dos modelos ser incipiente.

Nesse sentido, a metodologia proposta no presente estudo pode apresentar resultados mais consistentes, uma vez que procura contornar as deficiências dos modelos anteriores por meio de ferramentas e conceitos mais robustos. Conforme aqui apresentado, a forma de combinação dos indicadores permite a incorporação de variáveis distintas, inclusive outras variáveis não apresentadas, como por exemplo, dados sobre outras infra-estruturas, a saber: ferrovias, aeroportos, portos e hidrovias. Quanto à capacidade de previsão dos modelos, uma vez que a metodologia proposta utiliza conceitos de CA, pode-se considerar que os modelos apresentariam desempenhos superiores à metodologia baseada em uma comparação direta (visual), possibilitando a extrapolação de resultados para períodos futuros, oferecendo novas alternativas para o planejamento urbano e regional ao estabelecer critérios para a definição de regiões urbanas homogêneas. Isto deve, no entanto, ser confirmado através de aplicações práticas da proposta, a serem desenvolvidas.

### 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) pelo 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.
- 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.
- Gouvêa, R. G. (2005) *A Questão Metropolitana no Brasil*. Primeira ed. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, RJ.
- Grigolon, A. B.; G. G. Manzato e A. N. R. Silva (2007) Spatial Growth Patterns and Transportation Impacts of Major Trip Generators – The Case of Campinas, Brazil. *Anais eletrônicos do 11<sup>th</sup> World Conference on Transportation Research*, WCTR, Berkeley, EUA.
- Krempi, A. P. (2004) *Explorando Recursos de Estatística Espacial para Análise da Acessibilidade da Cidade de Bauru*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Lemos, D. S. C. P. S.; M. P. S. Santos e L. S. Portugal (2004) Análise da Relação entre o Sistema de Transporte e a Exclusão Social na Cidade do Rio de Janeiro. *Revista Engevista*, v. 6, n. 3, p. 36-53.
- Lemos, D. S. C. P. S.; M. P. S. Santos e L. S. Portugal (2005) Análise das Relações Existentes entre o Uso do Solo e o Sistema de Transportes na Cidade do Rio de Janeiro, Brasil. *Anais eletrônicos do 1<sup>o</sup> Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano Regional Integrado Sustentável*, PLURIS 2005, São Carlos, Brasil.
- Li, X. e X. Liu (2006) An Extended Cellular Automaton using Case-based Reasoning for Simulating Urban Development in a Large Complex Region. *International Journal of Geographical Information Science*, v. 20, n. 10, p. 1109-1136.
- 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. e A. N. R. Silva (2006) Incorporando um Indicador de Oferta de Infra-estrutura de Transportes na Definição de Regiões Metropolitanas. *Anais eletrônicos do XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Brasília, Brasil.
- Manzato, G. G.; A. J. Soares e A. N. R. Silva (2006) Aglomerações Urbanas e Oferta de Transportes no Estado de São Paulo, Brasil. *Anais eletrônicos do 2<sup>o</sup> Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano Regional Integrado Sustentável*, PLURIS 2006, Braga, Portugal.
- 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.
- 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.
- Queiroz, M. P. (2003) *Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Ramos, R. A. R. e A. N. R. Silva (2003a) A Data-driven Approach for the Definition of Metropolitan Regions. *Anais eletrônicos do VIII International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, CUPUM, 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 (2007) A Spatial Analysis Approach for the Definition of Metropolitan Regions – The Case of Portugal. *Environment and Planning B*, v. 34, n. 1, p. 171-185.
- Ramos, R. A. R.; A. N. R. Silva e V. P. Miranda (2004) A Comparison of Two Methods for the Definition of Regional Metropolitan Areas through an Application in the North of Portugal. *Anais eletrônicos do 44<sup>th</sup> European Congress of the European Regional Science Association*, Porto, Portugal.

- Santos, V. S. (2005) *Modelagem da Geração e Distribuição de Viagens para Escolas utilizando Cellular Automata e Avaliação Multicritério*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Santos, V. S.; R. S. Lima e A. N. R. Silva (2005) Modelagem da Dinâmica Populacional Intra-urbana com Cellular Automata e Avaliação Multicritério. In: Silva, A. N. R.; L. C. L. Souza e J. F. Mendes (eds.) *Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Desenvolvimentos recentes no Brasil e em Portugal*, São Carlos: Edição dos autores.
- Silva, E. A. (2002) Cenários da Expansão Urbana na Área Metropolitana de Lisboa. *Revista de Estudos Regionais - Região Lisboa e Vale do Tejo*, n. 5, p. 23-41.
- Silva, A. A. e F. Vala (2001) Acessibilidades e Construção na Área Metropolitana de Lisboa, 1991-2001. *Revista de Estudos Regionais - Região Lisboa e Vale do Tejo*, n. 3, p. 25-40.
- Teixeira, G. L. (2003) *Uso de Dados Censitários para Identificação de Zonas Homogêneas para Planejamento de Transportes Utilizando Estatística Espacial*. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.
- Webster, C. e F. Wu (2001) Coase, Spatial Pricing and Self-organising Cities. *Urban Studies*, v. 38, n. 11, p. 2037-2054.
- Yeh, A. G. e X. Li (2002) A Cellular Automata Model to Simulate Development Density for Urban Planning. *Environment and Planning B*, v. 29, p. 431-450.

---

**Endereço dos autores:**

Gustavo Garcia Manzato  
Mestre em Engenharia de Transportes  
gusmanzato@yahoo.com.br  
Antônio Nelson Rodrigues da Silva  
Professor Associado  
anelson@sc.usp.br

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