

# **PADRÕES DE CRESCIMENTO DOS PÓLOS GERADORES DE VIAGENS EM CIDADES MÉDIAS BRASILEIRAS E SEUS IMPACTOS EM TRANSPORTES**

**Anna Beatriz Grigolon**  
**Antônio Nélon Rodrigues da Silva**

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos

## **RESUMO**

O desenvolvimento das cidades frequentemente propicia o aparecimento de empreendimentos de grande porte que, juntamente com o aumento da população e dos veículos, causam impactos na rede de sistema viário. Dado que há fortes indícios que a localização e o porte destes empreendimentos, aqui denominados de Pólos Geradores de Viagens (ou PGV's), seja influenciado pela presença de outros PGV's, o objetivo deste trabalho é avaliar esta hipótese em cidades médias brasileiras. A pesquisa contará com o auxílio de ferramentas de estatística espacial para uma posterior modelagem espacial. Será utilizando o conceito de análise exploratória de dados espaciais, com o índice e o diagrama de espalhamento de Moran, com a delimitação de regiões similares, divididas de modo a indicar pontos de associação espacial. Em seguida, a modelagem espacial será feita com a técnica de *Cellular Automata* para a simulação e construção dos modelos de previsão, visando a análise de impactos.

## **ABSTRACT**

The development of the cities often attracts large business and retail developments. Together with the increase of population and vehicles, these developments may cause strong impacts on the road network. Assuming that the location and size of these developments, here called Trip Generators (TG's), can be influenced by the existence of other TG's in the neighborhood, the objective of this work is to evaluate this validity of this hypothesis in Brazilian medium-sized cities. The research will make use of Spatial Statistics tools as the starting point for subsequently modeling the spatial patterns. Concepts of exploratory spatial data analysis, such as the Moran's index and scatterplot, will be used in the identification of similar regions, which will be clustered according to the degree of spatial association. Next, a Cellular Automata approach will be used for the simulation and construction of forecasting models aiming at the impacts assessment.

## **1. INTRODUÇÃO**

As cidades brasileiras, nas últimas décadas, passaram por processos de crescimentos intensos, ligados à dinamização das atividades econômicas e às migrações populacionais. Associado a isto, sofreram outros impactos, como a reconstrução física e adaptações do sistema viário, quase sempre justificadas como alternativas capazes de proporcionar uma redistribuição de acessibilidade, entendida nesse contexto como a capacidade de movimentação entre pontos de origem e destino. O que ocorreu de fato é que o automóvel acabou modelando as cidades deste século, reformulando a noção de espaço e distância, além de modificar os hábitos das pessoas (Scarlatto, 1989).

As maiores cidades do Brasil, tal como ocorre com muitos países em desenvolvimento, foram transformadas, em décadas recentes, em espaços eficientes para o automóvel. A frota de automóveis cresceu substancialmente, alardeada como única alternativa eficiente de transporte para os cidadãos de mais elevados níveis de renda. O sistema viário sofreu ampliações e adaptações, órgãos públicos foram implantados para garantir boas condições de fluidez para o automóvel. Dessa maneira, formou-se a base para a implantação de uma cultura voltada para este modo de transporte, capaz de consumir um nível muito elevado de recursos (ANTP, 1999).

O conceito de Pólos Geradores de Viagens (PGV's) foi incorporado recentemente na metodologia de análise de impacto das atividades urbanas sobre o comportamento das redes viárias, produto das novas visões que se introduzem nas técnicas de Planejamento.

Atualmente tem sido adotado devido às características do processo de urbanização e renovação urbana, onde começam a aparecer atividades que modificam substancialmente o comportamento do trânsito na sua área de influência e que requerem uma avaliação pontual para, por um lado, possibilitar as medidas de gestão da demanda de transportes e, por outro, impor controles e/ou exigências adicionais aos encarregados do desenvolver essas atividades (Espejo, 2001).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os Pólos Geradores de Viagens são entendidos aqui como construções urbanas (escolas, conjuntos de escritórios, *shopping centers*) que, pela natureza das atividades ali realizadas, atraem grande quantidade de deslocamentos de pessoas ou cargas. O seu controle torna-se importante como forma de minimizar ou eliminar os impactos indesejáveis que possam ter sobre o transporte e o trânsito da sua área de influência e que são causas importantes das más condições de circulação nas grandes cidades brasileiras (ANTP, 2005). Os impactos causados pelos PGV's nos sistemas viários e de transportes, associados ao grande número de empreendimentos e à diversidade de projetos e ambientes urbanos, estimularam o desenvolvimento de metodologias de previsão de impacto, inicialmente nos EUA e Europa, e, a partir da década de 1980, no Brasil (Portugal e Goldner, 2003). Segundo Giustina e Cybis (2003), as principais metodologias são:

- Departamento de Transportes dos Estados Unidos da América;
- Institute of Transportation Engineers – ITE;
- Metodologia Espanhola;
- CET – SP;
- Metodologia de Goldner;
- Metodologia aplicada em Porto Alegre.

Esta pesquisa não se restringe ao emprego dos métodos acima, uma vez que seu objetivo difere ligeiramente daquele observado na maioria dos estudos, que são em geral realizados para avaliar se a rede viária circunvizinha aos empreendimentos possui capacidade para absorver o tráfego gerado com um nível de serviço aceitável. No caso desta pesquisa, o objetivo inclui ainda a avaliação da forma como a localização e o porte destes empreendimentos influencia a implantação de outros PGV's nas cidades médias brasileiras. Para tal, são necessárias técnicas de análise e modelagem espacial, conforme relatado a seguir.

### **2.1. Análise Espacial**

A análise espacial é definida como o estudo, a exploração e modelagem de processos que se expressam através de uma distribuição no espaço. O propósito da análise espacial é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo (Câmara *et al.*, 2002).

Segundo Lopes (2005), o conjunto amplo de técnicas, que incluem métodos estatísticos e que procuram descrever a variação espacial do fenômeno em estudo a partir de amostras disponíveis, é chamado de “Estatística Espacial”. 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, gráficos de espalhamento e mapas. Estes índices auxiliam na

identificação de agrupamentos de objetos cujos atributos possuem valores altos e baixos, áreas de transição e casos atípicos (Krempf, 2004).

Lopes (2005) afirma que uma das formas de medir a autocorrelação espacial é através do índice I de Moran, cujo valor varia de -1 a +1 e indica quanto cada área analisada é semelhante à sua vizinhança imediata. É calculado de acordo com a Equação (1).

$$I = \frac{Z'W_z}{Z'Z}, \quad (1)$$

onde o expoente t define vetor transposto, W é a matriz de proximidade espacial, Z é um vetor de médias e  $W_z$  é um vetor de médias ponderadas.

Uma maneira de visualizar a dependência espacial é através do diagrama de espalhamento de Moran, cujo gráfico é subdividido em quatro quadrantes que indicam pontos de associação espacial. Pode-se identificar quatro zonas distintas, normalmente definidas como quadrantes um (Q1), dois (Q2), três (Q3) e quatro (Q4).

## 2.2. Modelagem Espacial com *Cellular Automata*

O estudo do desenvolvimento de aglomerados urbanos é realizado há vários anos. Tornou-se extremamente complexo com a introdução de novas ferramentas de análise espacial, propiciando a investigação de fenômenos dinâmicos. Recentemente têm-se observado o desenvolvimento da técnica *Cellular Automata* (CA) para a simulação de diferentes cenários de desenvolvimento urbano, considerando-se as inúmeras variáveis das cidades. As técnicas CA realizam a avaliação das variáveis mais importantes para a evolução dos fenômenos em análise e, assim, criam mecanismos de previsão de tendências futuras. São sistemas dinâmicos nos quais o espaço e o tempo são discretos, com comportamento especificado em termos de uma relação local. O espaço é representado por uma grade uniforme composta de várias células, as quais podem assumir alguns estados predefinidos (Ramos e Silva, 2002).

De acordo com White e Engelen (2000), os CA constituem talvez o mais simples ferramental de modelagem dinâmica espacial, e essencialmente consistem de:

- Uma rede ou um espaço regular;
- Estados que caracterizam as células;
- Definição da vizinhança de uma célula;
- Regras de transição que determinam os estados de cada célula em função de suas vizinhanças;
- Uma seqüência de períodos de tempo discretos, quando todas as células são atualizadas simultaneamente.

Os CA são normalmente implementados segundo critérios locais, isto é, as regras de transição são aplicadas na vizinhança de uma célula. No entanto, em muitos casos de processos urbanos, a função de transição deve levar em conta diferentes fatores, incluindo: os efeitos da vizinhança, o fator ambiental, as taxas demográficas da região, a demanda por uma determinada atividade econômica e o comportamento dos agentes econômicos (Pedrosa e Câmara, 2002).

### 3. OBJETIVOS

- Modelar os padrões de Crescimento dos PGV's utilizando técnicas de análise e modelagem espacial para previsão de impactos em transportes, em cidades médias brasileiras
- Contribuir para a investigação do fenômeno em cidades com características similares às estudadas (inclusive de outros países).

### 4. MÉTODO

O método preliminar está subdividido nas etapas a seguir:

- Caracterização das cidades estudadas;
- Análise espacial dos dados de Pólos Geradores de Viagens com recursos de estatística espacial;
- Desenvolvimento dos modelos para prever os padrões de crescimento dos PGV's;
- Análise dos impactos associados aos PGV's no período simulado.

### 5. BIBLIOGRAFIA PRELIMINAR

- ANTP (1999) Associação Nacional de Transportes Públicos. *Circulação com qualidade na cidade do século XXI*. São Paulo.
- ANTP (2005) Associação Nacional de Transportes Públicos. *Planejando o desenvolvimento das Cidades*. São Paulo. Disponível em: [http://www.antp.org.br/telas/desenvolvimento\\_urbano/capitulo2\\_urbano.htm](http://www.antp.org.br/telas/desenvolvimento_urbano/capitulo2_urbano.htm)
- Câmara, G.; Monteiro, A.M.; Fucks, S.D.; Carvalho, M.S. (2002). *Análise Espacial e Geoprocessamento*. In: Análise Espacial de Dados Geográficos. Divisão de Processamento de Imagens - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em: [www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/)
- Espejo, C.P.L. (2001). *Estimación de tasas de generación de viajes para actividades comerciales en el A.M.C.: Propuesta Metodológica*. Dissertação de Mestrado, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.
- Giustina, C.D.; Cybis, H.B.B (2003). *Metodologias de análise para estudos de impactos de Pólos Geradores de Tráfego*. In: III Semana de Produção e Transportes, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Rio Grande do Sul. Disponível em: [http://www.producao.ufrgs.br/dissert\\_mestrado/art\\_cybis30.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/dissert_mestrado/art_cybis30.pdf)
- Krempi (2004). *Explorando recursos de estatística espacial para análise da acessibilidade da cidade de Bauru*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo.
- Lopes, S. B. (2005). *Estudo da dependência espacial em modelos de previsão de demanda por transporte*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo.
- Ramos, R. A. R.; Silva, A. N. R. (2002) *Oportunidades e desafios de técnicas emergentes para o Planejamento Urbano: o caso dos modelos de Cellular Automata*. In: VII Encontro de utilizadores de Informação Geográfica, ESIG 2002, Lisboa, Portugal.
- Scarlato, F.C. (1989). *Metropolização de São Paulo e o Terceiro Mundo*. 2ª.ed., Editora Iglu, São Paulo.
- Pedrosa, B. M.; Câmara, G. (2002). *Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento*, In: Análise Espacial de Dados Geográficos, eds: Fucks, S. D.; Carvalho, M. S.; Câmara, G.; Monteiro, A. M. V. Divisão de Processamento de Imagens - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em: [www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/)
- Portugal, L. S.; Goldner, L. G. (2003). *Estudo de Pólos Geradores de Tráfego e de seus impactos nos sistemas viários e de transportes*. 1ª ed, Ed. Edgard Blücher, São Paulo.
- White, R.; Engelen, G. (2000). *High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems*. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/compenvurbsys](http://www.elsevier.com/locate/compenvurbsys)