

# **DENSIDADE POPULACIONAL E GERAÇÃO DE VIAGENS: ANÁLISE EXPLORATÓRIA COMPARATIVA APLICADA A UM MUNICÍPIO BRASILEIRO**

**Erika Cristine Kneib**  
**Miguel Fernandes da Silva**  
Universidade Federal do Tocantins

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta uma análise comparativa e exploratória, em escala de zona de tráfego entre dois elementos: densidade populacional e geração de viagens, em um estudo de caso específico. Como ferramenta utiliza-se a estatística espacial, em conjunto com o Sistema de Informações Geográficas. O procedimento de trabalho desenvolvido para a análise torna possível a comparação entre os elementos objetos do estudo.

## **ABSTRACT**

This work presents a comparative and exploratory analysis, in traffic zone scale, between two factors: population density and trip generation, in a specific case of study. Spatial statistics and Geographic Information System are used as tools. The work procedure developed to the analysis makes possible the comparison between the objects of study.

## **1. INTRODUÇÃO**

No contexto do planejamento de transportes, a etapa de geração de viagens é definida como a determinação do número de viagens associado a uma zona de tráfego, consistindo em viagens produzidas e atraídas para a zona. Os modelos de geração relacionam intensidade de viagens de e para parcelas do solo, considerando-se o tipo e a intensidade do uso do solo. O número de viagens produzidas ou atraídas por uma determinada área de estudo será função de uma série de características da área, enfatizando como principais: os padrões de uso e ocupação do solo da área, destacando-se a concentração populacional e as atividades desenvolvidas; a localização da área de estudo em relação às áreas centrais; as características dos sistemas de transportes, como oferta de transporte público; nível de motorização da população; as características sócio-econômicas da população, dentre outros.

Cientes da importância das variáveis citadas para o processo de geração de viagens e, conseqüentemente, para o processo de planejamento de transportes, este trabalho procura contribuir para entender a relação entre uma dessas variáveis – a densidade populacional - e o processo de geração de viagens, em um estudo de caso específico.

Ressalta-se que densidades populacionais desequilibradas podem ocasionar efeitos nefários no sistema de transporte de uma cidade. A infra-estrutura relativa ao sistema de transportes, como também a dos demais serviços urbanos, é onerosa e requer significativos investimentos para sua provisão, que são melhor aproveitados quando realizados nos eixos de concentração de demanda, onde beneficiam um maior número de pessoas. Neste contexto, a gestão das políticas urbanas deve estimular o adensamento das atividades em regiões de fácil acesso e já dotadas de infra-estrutura de serviços, pois manter uma densidade populacional muito baixa significa construir uma cidade pouco racional e com altos custos de implantação e manutenção dessa infra-estrutura.

Assim, realiza-se, em um caso específico, a comparação entre ambos os elementos – densidade populacional e geração de viagens - de forma exploratória, em escala de Zona de Tráfego - ZT. A análise exploratória de dados em áreas tem intenção de detectar padrões nos dados aplicáveis a objetos em uma área e sugerir hipóteses por meio da imposição de um mínimo de estrutura possível. Como ferramenta utiliza-se a estatística espacial, em conjunto com o Sistema de Informações Geográficas, que conforma um procedimento de trabalho possível de realizar a comparação entre os elementos a serem analisados.

Destaca-se que tal análise pode ser utilizada para embasar políticas de atuação pública, com foco em políticas de planejamento urbano e de transportes, uma vez que pode contribuir para identificar vetores de concentração e distribuição espacial populacional e dos padrões de viagens que ocorrem no município objeto do estudo de caso.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Densidade populacional**

A densidade populacional é um referencial importante para se avaliar, técnica e financeiramente, a distribuição e consumo da terra urbana, infra-estruturas e serviços em uma área residencial. Em geral, assume-se que, quanto maior a densidade, melhor será a maximização dos investimentos públicos, que incluem as infra-estruturas de transporte. Todavia, assentamentos de altas densidades podem sobrecarregar e saturar as redes de infra-estrutura, principalmente a de transportes, o que pode ocasionar um ambiente inadequado ao desenvolvimento humano (Acioly Jr. e Davidson, 1998).

A ausência de uma gestão urbana efetiva tende a aumentar a densidade populacional em locais com alta acessibilidade, especialmente com relação ao mercado de trabalho e infra-estrutura urbana, com consequente valorização do espaço. Em contrapartida, locais com densidade muito baixa tendem a ser prejudiciais para a implantação de infra-estrutura, pois esta se tornará demasiadamente onerosa, com destaque para o sistema de transportes. Cabe então à gestão pública estabelecer parâmetros e fazer cumprir normas para tornar adequada a densidade populacional da cidade, aproveitando a potencialidade das infra-estruturas existentes, e ao mesmo tempo freando o crescimento populacional em locais com indícios de saturação.

Sobre a relação entre densidade populacional e modos de transporte, destaca-se que o aumento da densidade populacional pretendida numa região, gera o aumento das viagens de automóvel, pois aumenta o número de pessoas que necessitam se locomover. Mas quando esse aumento é planejado junto com a oferta de transporte coletivo, essa densidade se torna uma ferramenta indispensável para o aproveitamento do solo urbano (Campos e Mello, 2000).

No contexto das variáveis que interferem no processo de geração de viagens, este trabalho procura estudar a densidade populacional, em escala de Zona de Tráfego. Para tal, utiliza-se o número de pessoas residentes em cada Zona de Tráfego, conforme equação 1.

$$Dp_i = \frac{Np_i}{Ar_i} \quad (1)$$

Onde:

$Dp_i$  = densidade populacional da Zona de Tráfego  $i$ ;

$Np_i$  = número de pessoas residentes na Zona de Tráfego  $i$ ;

$Ar_i$  = área, em  $\text{km}^2$ , da Zona de Tráfego  $i$ .

## 2.2 Geração de viagens

A relação entre o sistema de transportes e o espaço urbano é de dois tipos principais, numa relação biunívoca: de um lado, o uso do solo condiciona o número de viagens geradas, que deve ser absorvido pelo sistema de transportes. De outro, a configuração do sistema de transportes impacta a forma como a cidade se expande, como os usos se distribuem no espaço, e como se concentra a população, ao determinar a acessibilidade a cada local. Sobre o sistema viário, cabe destacar que a configuração espacial, a capacidade e outras características físicas e funcionais desse sistema urbano estão relacionadas à densidade populacional, à organização do uso do solo e à maneira como o espaço urbano é utilizado pela população.

O processo de planejamento de transportes baseia-se no Modelo de Quatro Etapas. Os estudos das quatro etapas são feitos para a situação presente e para situações futuras hipotéticas, onde divide-se a área de estudo em zonas de tráfego e posteriormente são projetados valores de variáveis relevantes para o processo. O modelo baseia-se nas análises de geração de viagens, distribuição de viagens, divisão modal e alocação de viagens.

A etapa inicial do processo e foco deste estudo – geração de viagens – é definida por Bruton (1979) como a determinação do número de viagens associado a uma zona de tráfego, consistindo em viagens produzidas e atraídas para a zona. A geração de viagens investiga a relação entre as características dos movimentos e os dados sócio-econômicos da população. Sua principal tarefa é relacionar a intensidade de viagens de e para parcelas do solo, considerando-se o tipo e a intensidade do uso do solo (Hutchinson, 1979, Sarkozy e Mainente, 1997).

O número de viagens produzidas ou atraídas por uma determinada área de estudo será função de uma série de características da área, destacando como principais: os padrões de uso do solo da área, destacando-se a concentração populacional; a localização da área de estudo em relação às áreas centrais; as características dos sistemas de transportes, como oferta de transporte público; nível de motorização da população; as características sócio-econômicas da população, dentre outros (Mello, 1975).

Tais conceitos, definições e variáveis intervenientes na geração de viagens são de extrema relevância para este trabalho, uma vez que se pretende verificar a relação da densidade populacional com a geração de viagens de determinadas zonas. Para viabilizar a análise de tal relação, a variável utilizada baseia-se na densidade de geração de viagens, variável utilizada em diversos estudos (*e.g.* Gordon e Richardson, 1996, Nigriello *et al*, 2002, Kneib, 2008), que pode ser expressa pela equação 2.

$$DGV_i = \frac{V_i}{Ar_i} \quad (2)$$

Onde:

$DGV_i$  = densidade de geração de viagens na Zona de Tráfego  $i$ ;

$V_i$  = número de viagens geradas na Zona de Tráfego  $i$ ;

$Ar$  = área, em  $\text{km}^2$ , da Zona de Tráfego  $i$ .

### 2.3 Análise e Estatística Espacial

A análise espacial é o estudo quantitativo de fenômenos que são possíveis de serem localizados no espaço, e procura avaliar se o fenômeno estudado possui uma referência espacial ou geográfica. Destarte, a idéia central da análise espacial é incorporar o espaço à análise a que se deseja fazer. As observações dos dados, dentro do campo de análise espacial, podem ser classificadas em três grupos distintos, segundo o padrão de como os respectivos dados estão distribuídos no espaço geográfico. A taxonomia, assim denominada, utilizada para analisar os padrões de dados no espaço considera: análise de padrões pontuais, análise de superfícies e análise de áreas (Fook, 2005; Câmara *et. al.*, 2000a).

Com foco para este trabalho, destaca-se a análise exploratória de dados em áreas, que consiste em ferramentas estatísticas descritivas e gráficas, com a intenção de detectar padrões nos dados aplicáveis a objetos em área e sugerir hipóteses por meio da imposição de um mínimo de estrutura possível. As ferramentas usadas neste caso, normalmente, são os indicadores globais de autocorrelação espacial; os indicadores locais de autocorrelação espacial; e as ferramentas de análise gráfica de dependência espacial, como o diagrama de espalhamento de Moran, que também pode ser visualizado por meio do Boxmap (Câmara *et al.*, 2000b), abordados a seguir.

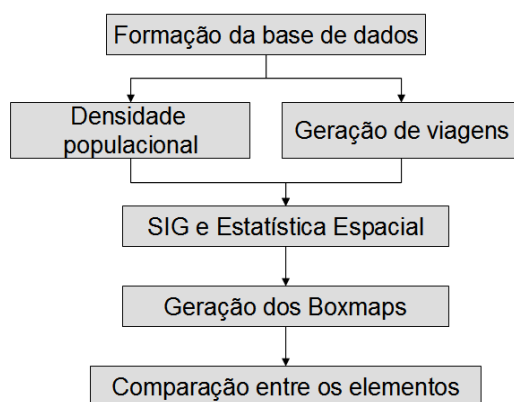
O Diagrama de Espalhamento de Moran e o Boxmap constituem formas de visualizar a dependência espacial. O Diagrama de Espalhamento de Moran é construído com base nos valores normalizados (valores de atributos subtraídos de sua média e divididos pelo desvio padrão), e permite analisar o comportamento da 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. Os quadrantes podem ser interpretados como: Q1 (valores positivos, médias positivas); Q2 (valores negativos, médias negativas); Q3 (valores positivos, médias negativas); e Q4 (valores negativos, médias positivas).

Outra maneira de apresentar o Diagrama de Espalhamento de Moran é o *Boxmap*, que consiste em um mapa temático bidimensional, onde cada polígono indica seu quadrante no diagrama de espalhamento. Nesta forma de representação, resumidamente, os valores são representados por cores padrão para o Boxmap, onde o vermelho representa o valor 1 (alto-alto); o azul representa o valor 3 (alto-baixo); o rosa representa o valor 2 (baixo-baixo) e o lilás representa o valor 4 (baixo-alto).

Outro destaque para a utilização do Boxmap, é que este dispensa a utilização de valores de corte para a identificação de áreas-pico, ou áreas que se destacam com relação às demais. No estudo de caso deste trabalho, são gerados Boxmaps para densidade populacional e geração de viagens, sendo que as áreas com valores altos para essas variáveis são representadas pelos valores 1 e 3 do Boxmap, o que permitirá realizar uma análise exploratória comparativa.

### 3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO ADOTADO

O procedimento metodológico adotado para a consecução deste estudo é esquematicamente representado pela Figura 1. No procedimento, primeiramente forma-se a base de dados, contendo as zonas de tráfego do município objeto do estudo de caso, assim como dados de densidade populacional e geração de viagens para cada uma das zonas. Estes dados são inseridos em um ambiente SIG. Posteriormente, a partir da estatística espacial, calcula-se o valor do Boxmap para os elementos Densidade Populacional e Geração de Viagens. Em seguida são elaborados os Boxmaps, que permitem a comparação entre ambos os elementos, assim como a busca de padrões ou associações espaciais, em escala de Zona de Tráfego.



**Figura 1:** Procedimento Metodológico adotado

No item seguinte apresenta-se a aplicação deste procedimento metodológico para o estudo de caso do município de Manaus.

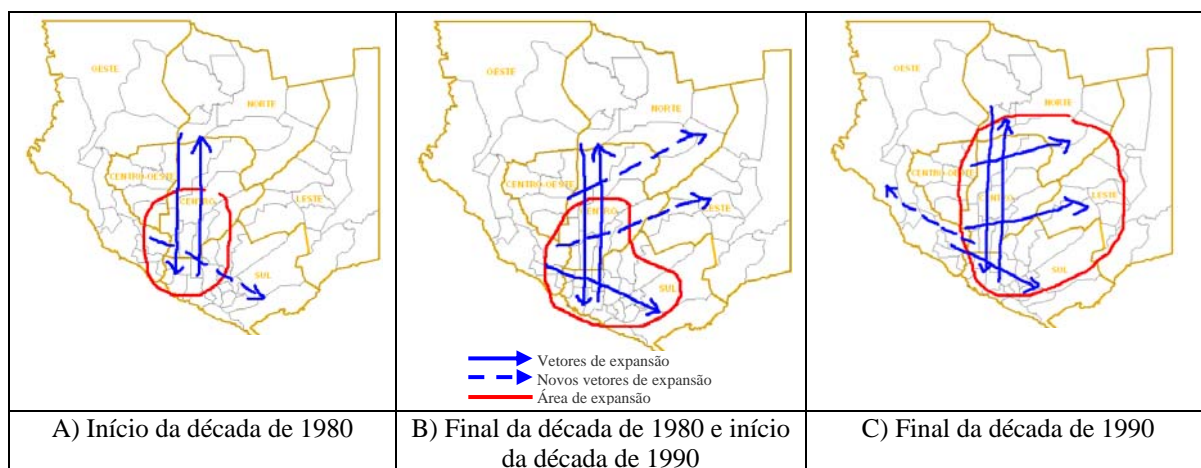
### 4. ESTUDO DE CASO

Para atingir o objetivo deste trabalho foi realizado um estudo de caso no município de Manaus, capital do estado do Amazonas, no Brasil. A seleção do município justifica-se pela disponibilidade da base de dados necessária à elaboração deste trabalho.

Com uma população de 1.646.602 habitantes (estimativa para 2007 segundo o IBGE, 2008), Manaus é uma das dez maiores cidades do Brasil. O crescimento, a partir do ano de 2000, foi bastante acelerado e a infra-estrutura para o transporte não conseguiu acompanhar este crescimento no mesmo ritmo. De maneira geral, a situação de Manaus não se distancia da situação de outras grandes metrópoles brasileiras nas quais a crise da mobilidade comprometeu diretamente a eficiência no transporte coletivo. Analogamente ao processo ocorrido em várias capitais, o crescimento populacional do município, de 46% em 11 anos, foi acompanhado de um crescimento da frota de veículos de quase 115% no mesmo período (Prefeitura de Manaus e Ceftru, 2006).

A Figura 2 apresenta um esquema ilustrativo das ocupações e dos vetores de crescimento na cidade de Manaus. Segundo a Prefeitura de Manaus e CEFTRU (2006), nos anos 80, a população

concentrava-se no centro da cidade. Havia um eixo norte-sul de deslocamento bem demarcado. A cidade se expandia paralelamente ao Rio Negro, em direção ao Distrito Industrial.



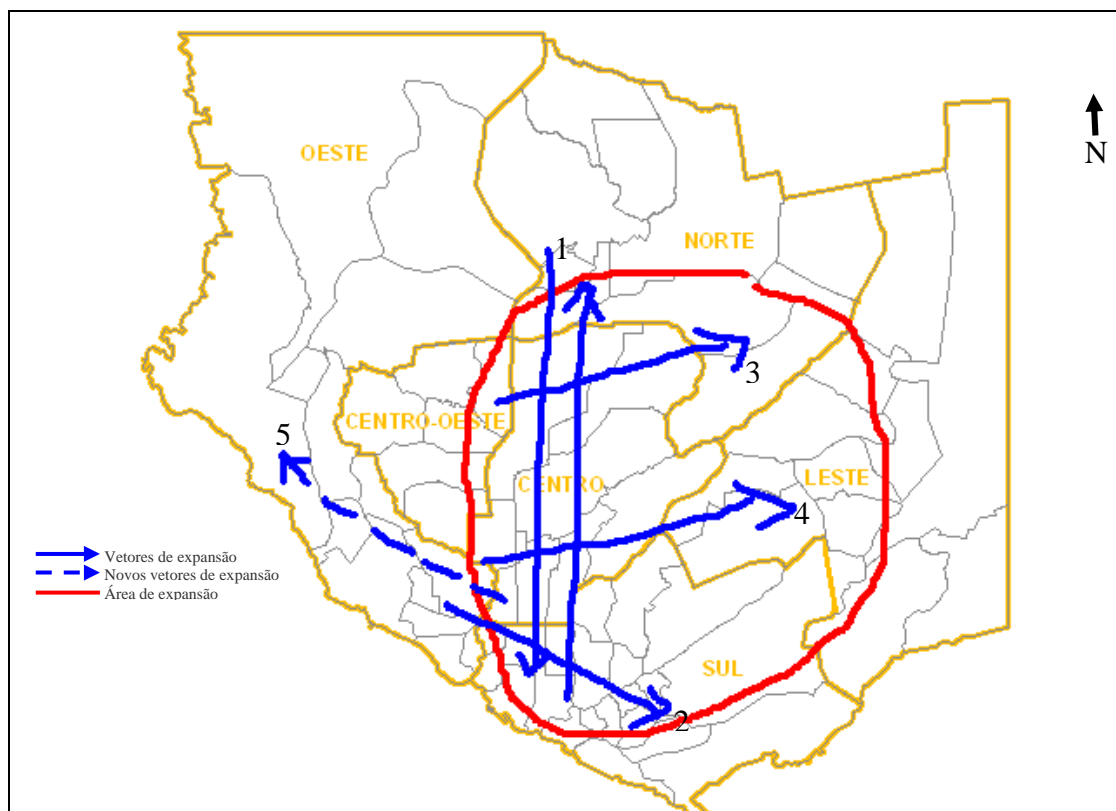
**Figura 2:** Ocupação e vetores de expansão na cidade de Manaus.

Fonte: Prefeitura de Manaus e Ceftru (2006)

No final dos anos 1980 e começo dos anos 1990, o crescimento populacional em direção norte, leste e nordeste foi muito acentuado. Estas regiões eram as de menor resistência à expansão, apresentando maior disponibilidade de terrenos e maior facilidade de acesso viário em direção ao centro da cidade. A região central, a região do porto e o distrito industrial já se mostravam consolidados, enquanto dezenas de empreendimentos habitacionais eram construídos nas regiões Norte e Leste. Já no final dos anos 1990 as regiões Norte e Leste encontravam-se consolidadas, sendo as zonas de maior crescimento em Manaus. A zona norte já apresentava aproximadamente 150 mil habitantes e a zona leste aproximadamente 230 mil habitantes.

A Figura 3 ilustra, em escala maior, os vetores de expansão de Manaus no fim da década de 1990, época na qual intensificou-se a expansão na direção oeste, paralelamente ao Rio Negro (Vetor 05), onde as classes média e média alta se deslocaram para a Ponta Negra, que recebeu uma quantidade grande de empreendimentos habitacionais para população de alta renda.

Conforme ressaltado inicialmente, este trabalho procura avaliar a relação entre densidade populacional e geração de viagens, em uma análise em escala de zona de tráfego. Para tal, primeiramente é necessário identificar as zonas com altos valores para densidade populacional e para geração de viagens, o que permitirá, posteriormente, sua comparação por meio dos Boxmaps, que dispensam a utilização de valores de corte para a identificação das ZTs que se destacam com relação às demais. Assim, nos itens que seguem, apresentam-se os Boxmaps gerados para análise das variáveis.



**Figura 3:** Ocupação e vetores de expansão na cidade de Manaus para o final da década de 1990. Fonte: Adaptado de Prefeitura de Manaus e Ceftru (2006)

#### 4.1 Densidade populacional

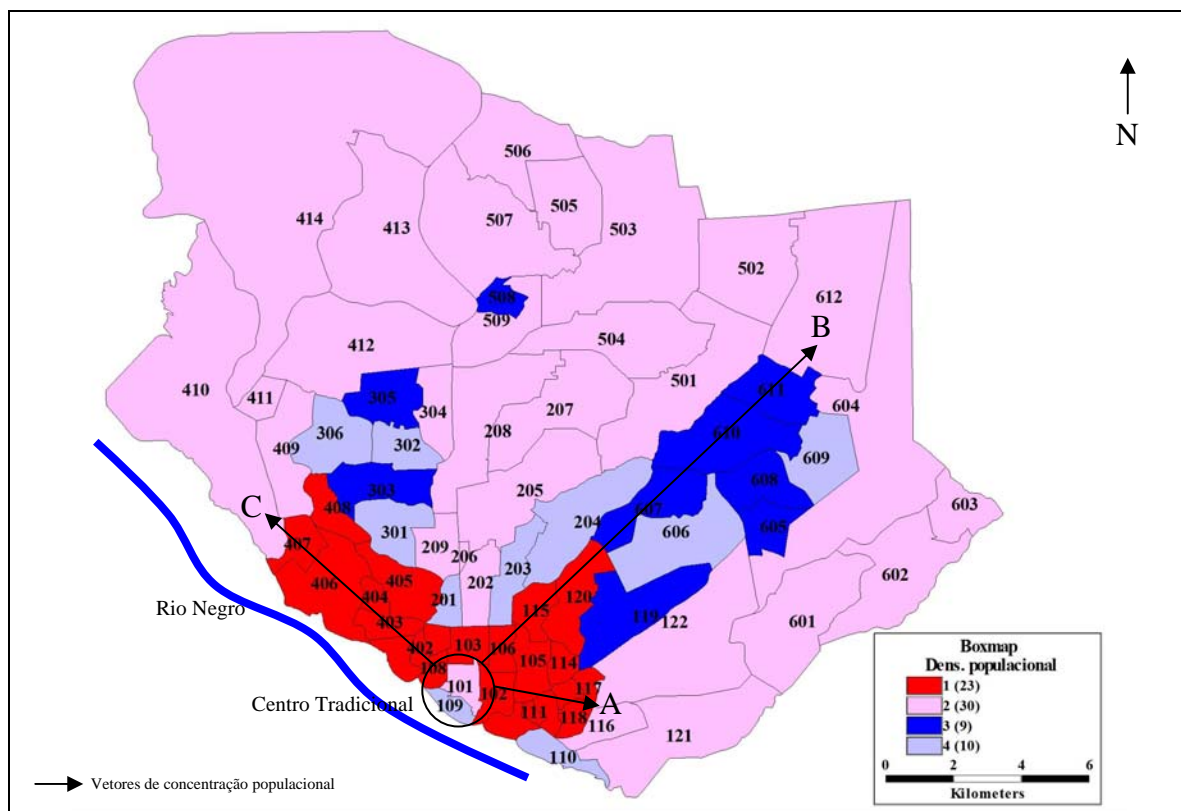
Para a elaboração do Boxmap sobre Densidade Populacional (DP), foram utilizados dados de população das ZTs, assim como a base vetorial das zonas, fornecidos pela Prefeitura de Manaus e CEFTRU (2006). A Figura 4 apresenta o Boxmap gerado para esta variável, calculado conforme abordagem do item 2.1, na qual observa-se os picos de densidade populacional por ZT representados pelos valores altos 1 e 3.

Na figura 4 observa-se que as áreas com altos valores para Densidade Populacional (valores 1 e 3, cores vermelho e azul do Boxmap) perfazem 32 Zonas (de um total de 72).

Com relação às concentrações populacionais, estas distribuem-se espacialmente:

- nas proximidades do Centro Tradicional;
- ao longo do Rio Negro (Vetores A e C);
- e em direção à região nordeste do município (Vetor B).

Além destas concentrações, apresentam altos valores as Zonas 303 e 305, na direção noroeste; e a Zona 508, na direção norte.



**Figura 4:** Boxmap *Densidade Populacional por ZT*

Ao se fazer uma comparação entre a Figura 4 e a Figura 3, observa-se que a concentração populacional encontrada com o procedimento metodológico adotado neste trabalho é compatível com o vetor de expansão 2; e o novo vetor de expansão 4, visualizados na Figura 3. Quanto ao vetor de expansão 1, observa-se que o procedimento adotado não revela concentrações populacionais significativas no eixo norte-sul (vetor 1).

#### 4.2 Geração de viagens

Para a elaboração do Boxmap sobre Densidade de Geração de Viagens (DV), foram utilizados dados da Matriz Origem-destino (OD) e da base vetorial das ZTs, fornecidas pela Prefeitura de Manaus e CEFTRU (2006), para o cálculo da densidade de viagens geradas por ZT, conforme abordagem do item 2.2. A Figura 5 apresenta o Boxmap gerado para essa variável, interessando, para este trabalho, os picos de viagens geradas, representados pelos valores 1 e 3.

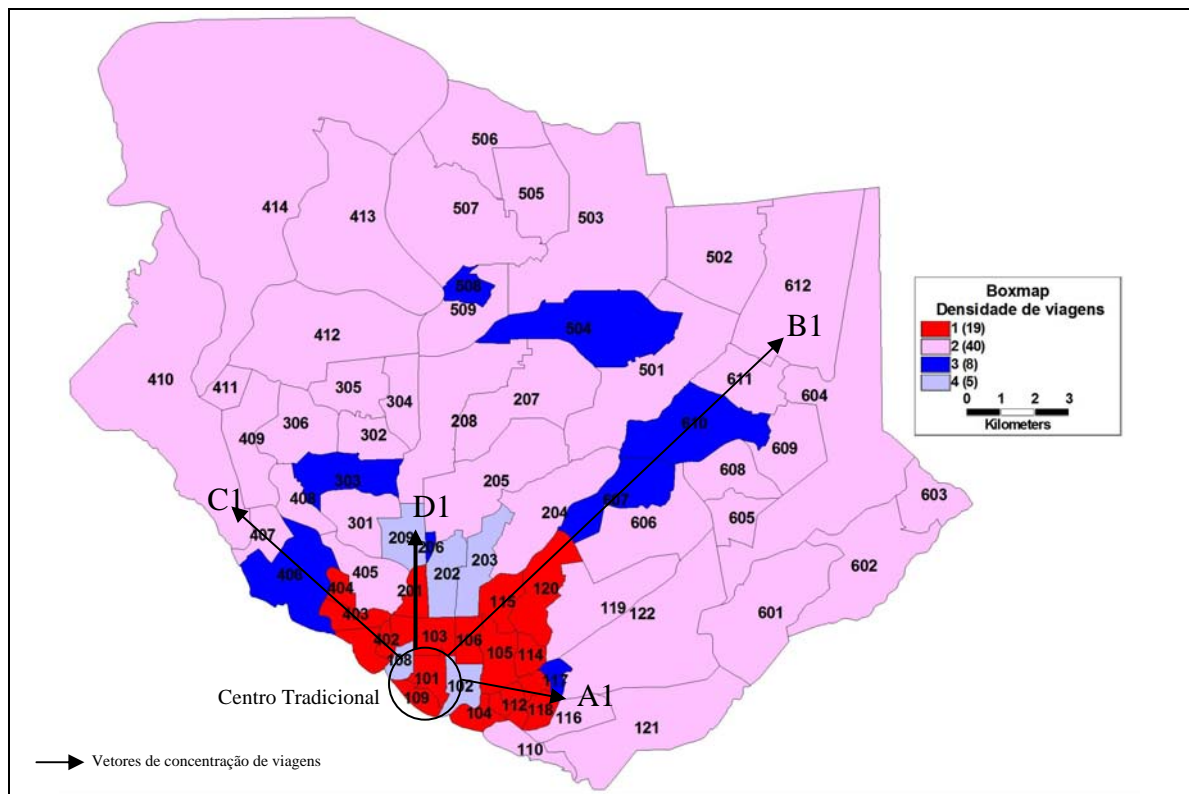
Na figura 5 observa-se que as áreas com altos valores para Densidade de Geração de Viagens (valores 1 e 3, cores vermelho e azul do Boxmap) perfazem 27 Zonas (de um total de 72).

Com relação às concentrações de geração de viagens na Figura 5, estas distribuem-se espacialmente de forma similar aos vetores de concentração de densidade populacional, apresentados na Figura 4:

- nas proximidades do Centro Tradicional;
- ao longo do Rio Negro (Vetores A1 e C1);



- e em direção à região nordeste do município (Vetor B1).

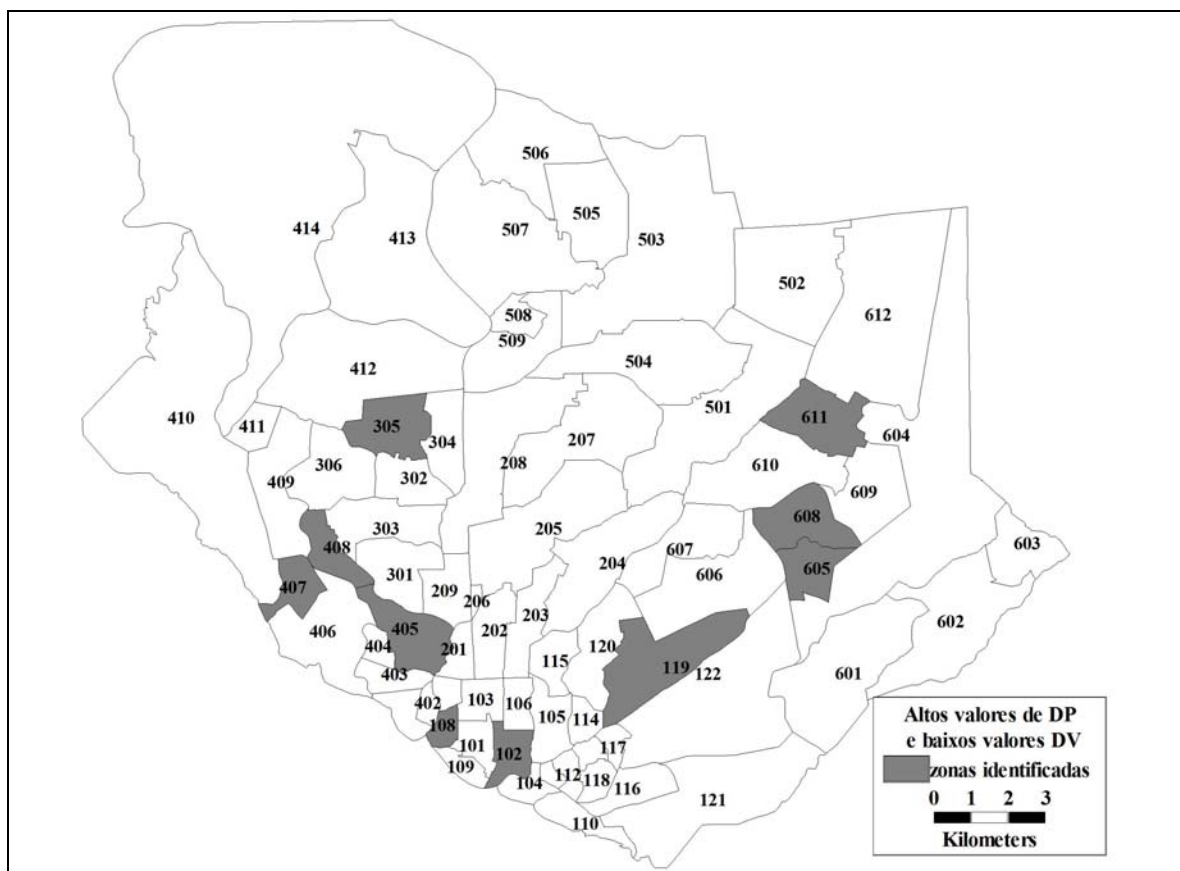


**Figura 5:** Boxmap *Geração de Viagens por ZT*

Na Figura 5 observa-se ainda um vetor D1, do Centro Tradicional em direção à área norte, não notado na Figura 4 (variável densidade populacional), mas observado na Figura 3. Ressalta-se que nas Zonas 201 e 206, que conformam este Vetor D1, encontra-se um corredor de transporte coletivo, além de um grande Shopping Center, que possivelmente justifiquem as altas densidades de viagens geradas. Além destas concentrações, apresentam altos valores a Zona 303, na direção noroeste; a Zona 504, na direção nordeste; e a Zona 508, na direção norte.

Na Figura 6 procurou-se elaborar um mapa que permitisse visualizar a interseção entre as Figuras 4 e 5, ou seja, que permitisse visualizar Zonas com altos valores do Boxmap para Densidade Populacional e Densidade de Viagens, com seus respectivos vetores de concentração, com o objetivo de detectar padrões nos dados analisados e sugerir hipóteses de uma estrutura identificável a partir do procedimento adotado.





**Figura 7:** Zonas com altos valores do Boxmap para DP e baixos para DV

Destarte, as zonas identificadas merecem análises mais detalhadas quanto a seu padrão de uso e ocupação do solo, assim como de sua oferta de sistema de transportes, uma vez que alta densidade populacional e baixa geração de viagens podem indicar tanto baixos padrões de mobilidade da população, quanto a necessidade de alterações no sistema de transporte para melhorar a mobilidade das pessoas que se localizam nessas zonas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procura contribuir para entender a relação entre uma das variáveis intervenientes no processo de geração de viagens – a densidade populacional - e este processo, em um estudo de caso específico. Para tal é utilizado um procedimento de análise exploratória comparativa, a partir do Sistema de Informações Geográficas e Estatística Espacial.

O estudo mostra a aplicabilidade do procedimento desenvolvido e do ferramental utilizado, uma vez que permite, para o caso estudado, detectar padrões e estruturas espaciais que permitem analisar os elementos em estudo.

Com relação à aplicabilidade desta análise às políticas de transporte, a identificação de zonas com alta densidade populacional e baixa geração de viagens pode contribuir para indicar zonas prioritárias para investimentos nos sistemas de transportes, melhorando a oferta desse serviços e,

consequentemente, a mobilidade da população residente nessas áreas e a acessibilidade a esses locais.

Como estudos futuros sugere-se uma análise mais detalhada das zonas identificadas em cada um dos casos, como por exemplo:

- análise em uma escala mais reduzida, como em escala de Setor Censitário, o que poderia auxiliar na identificação de novos padrões de distribuição espacial das variáveis;
- análise mais detalhada dos padrões de oferta dos sistemas de transporte;
- a consideração dos instrumentos de regulação sobre o território, como Planos Diretores Municipais e Leis de Uso e Ocupação do Solo, uma vez que tais Planos podem determinar os padrões de densidade e sua relação com o sistema de transportes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acioly Jr., C., Davidson, F. (1998) *Densidade urbana: um instrumento de planejamento e gestão urbana*. Rio de Janeiro, Mauad.
- Brutton, M.J. (1979) *Introdução ao Planejamento dos Transportes*. Rio de Janeiro: Interciência; São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo.
- Câmara, G., Carvalho, M. S., Cruz, O. G., Correa, V. (2000a) *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos.
- Câmara, G., Carvalho, M. S., Cruz, O. G., Correa, V. (2000b) *Análise Espacial de Áreas*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos.
- Campos, V. B. G., Melo, B. P. (2005) *Relacionando a ocupação urbana com o sistema viário para o desenvolvimento sustentável*. Disponível em [http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/vania/pubs/\(8\)Ocupacaourbana-sistemaviario.pdf](http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/vania/pubs/(8)Ocupacaourbana-sistemaviario.pdf). Acesso em julho de 2009.
- Fook, K. D. (2005) *Integração da estatística espacial em ambientes GIS*. Monografia de Qualificação em Computação Aplicada, INPE, São José dos Campos.
- Gordon, P., Richardson, H. W. (1996) *Beyond polycentricity: The dispersed metropolis, Los Angeles, 1970-1990*. Journal of the American Planning Association. Volume 62, Number 3, p. 289.
- Hutchinson, B. G. (1979) *Princípios de Planejamento dos Sistemas de Transporte Urbano*. Editora Guanabara Dois S. A. Rio de Janeiro.
- IBGE (2008) *Cidades @. Amazonas – Manaus*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Disponível em [www.ibge.com.br](http://www.ibge.com.br). Acesso em março de 2008.
- Kneib, E. C. (2008) *Subcentros urbanos: contribuição conceitual e metodológica à sua definição e identificação para planejamento de transportes*. Tese de doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- Mello, J. C. (1975) *Planejamento dos transportes*. São Paulo, Mcgraw Hill do Brasil.
- Nigriello, A., Pereira, A. L. S., Metran, J. (2002) *Pontos de articulação*. Revista dos Transportes Públicos. Número 97. ANTP.
- Prefeitura de Manaus (2002) *Plano Diretor Urbano e Ambiental de Manaus*. Manaus.
- Prefeitura de Manaus, CEFTRU (2006) *Projeto de Reestruturação do Transporte Coletivo Urbano de Manaus – RTC/MAO*. Prefeitura de Manaus, Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes . Relatório Final. Manaus.
- Sarkozy, A., Mainente, C. A., (1997) *The Application of GIS By EMTU-SP in the Transport Management of the São Paulo Metropolitan Area (SPMA) –Brazil*. In: AM/FM ASIA '97 & Geoinformatics '97. Mapping the future of Asia-Pacific, Taipei, Taiwan. v. 1. Chinese Geographic Information Society.