

CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL DA MOBILIDADE DOS USUÁRIOS CATIVOS DO SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTES DE FORTALEZA

Camila Soares Henrique

Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes – PETRAN

Universidade Federal do Ceará – UFC

Rinaldo Azevedo Cavalcante

Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará – ARCE

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise das características da mobilidade dos usuários cativos do Sistema Integrado de Transportes de Fortaleza (SIT-FOR), buscando identificar o padrão de distribuição espacial dessa mobilidade, assim como de outras variáveis correlacionadas, tais como uso do solo residencial, renda da população e acessibilidade provida pela rede de transporte, candidatas a explicarem o fenômeno da autocorrelação espacial da quantidade de deslocamentos realizados diariamente neste sistema. A metodologia adotada neste estudo se baseou na aplicação do ferramental de análise espacial exploratória em áreas das variáveis selecionadas, no nível de zonas de tráfego, possibilitando o desenvolvimento posterior de modelos de análise confirmatória da correlação espacial entre a mobilidade urbana e suas variáveis explicativas.

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the mobility characteristics of captive users at Fortaleza's Integrated Public Transport System (SIT-FOR), striving to identify the spatial distribution pattern of mobility, as well as the patterns of other correlated variables, such as residential land use, population income and accessibility provided by the transit network, all candidate variables to explain the phenomenon of spatial autocorrelation of the number of daily trips in this system. The methodology applied in this study was based on the use of exploratory spatial analysis tools to describe the behavior of the selected variables, in the level of traffic analysis zones, establishing the basis for the future development of a confirmatory model of spatial correlation among urban mobility and its explanatory variables.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de transporte público de passageiros (STPP's) das cidades brasileiras vêm passando por uma crise, desde meados da década de 90, que está principalmente associada à queda na quantidade de passageiros e ao aumento das produções quilométricas, ou seja, redução na receita e aumento dos custos. Este último fator pode resultar do crescimento urbano, do aumento dos congestionamentos e da elevação no nível de exigência dos usuários por um transporte de maior frequência e acessibilidade. Enquanto isso, a queda na demanda está associada, principalmente, a dois aspectos: a) dificuldade do sistema em competir com os novos participantes do mercado (transporte alternativo por vans, mototáxis, etc.), em termos de qualidade do serviço – em especial, velocidade operacional; b) desvio dos usuários para alternativas de transporte mais baratas (p.ex., trem), ou para o transporte não-motorizado, com deslocamentos a pé ou de bicicleta, já que desde 1998 a renda média da população vem decrescendo, enquanto o valor real das tarifas vem aumentando (Gomide, 2003).

Mesmo diante da forte concorrência de modais alternativos no mercado de transporte urbano em várias cidades brasileiras, a queda acentuada de passageiros no transporte público está indicando, segundo o ITRANS (2003), problemas diretamente relacionados com a mobilidade da população, principalmente a de renda mais baixa, que não tem mais o mesmo acesso aos sistemas de ônibus municipal diante da tarifa que vem sendo cobrada. Entretanto, ambos os aspectos são uma demonstração da distância que existe entre a configuração dos STPP's das cidades brasileiras e as necessidades atuais dos seus usuários. Por um lado, os usuários estão insatisfeitos com a qualidade do serviço prestado e, por outro lado, consideram que o preço cobrado pela sua utilização está acima de suas possibilidades. Ou seja, a configuração atual

dos STPP's não consegue atrair os usuários de maior renda, que têm maior acesso a alternativas de transporte individual, além de não oferecer condições de acesso aos usuários de mais baixa renda, que sempre foram considerados cativos do transporte público.

Diante dessa problemática, o presente artigo apresenta uma análise das características da mobilidade dos usuários cativos do Sistema Integrado de Transportes de Fortaleza (SIT-FOR), buscando identificar o padrão de distribuição espacial dessa mobilidade, assim como de outras variáveis, tais como uso do solo residencial, renda da população e acessibilidade provida pelo STPP de Fortaleza, candidatas a explicarem o fenômeno da autocorrelação espacial da quantidade de deslocamentos realizados diariamente neste sistema. A metodologia adotada neste estudo se baseou na aplicação do ferramental de análise espacial exploratória em áreas das variáveis selecionadas, no nível de zonas de tráfego, possibilitando o desenvolvimento posterior de modelos de análise confirmatória da correlação espacial entre a mobilidade urbana e suas variáveis explicativas.

2. MOBILIDADE DOS USUÁRIOS DO TRANSPORTE PÚBLICO

Segundo Tagore e Skidar (1995), o conceito de mobilidade pode ser definido como a capacidade dos indivíduos se moverem de um lugar para outro, sendo função direta da performance do sistema de transporte na hora do dia e na direção na qual o indivíduo pretende se deslocar, bem como de suas características sócio-econômicas. A mobilidade é normalmente expressa, em termos quantitativos, pela quantidade de viagens diárias realizadas por cada indivíduo (Gomide, 2003).

A mobilidade dos usuários do transporte público no Brasil, caracterizados pelo estudo publicado pela SEDU/PR (2002) como aqueles pertencentes às classes sociais B, C, D e E, é influenciada não só pelas características da rede de transportes e dos serviços ofertados, tais como a disponibilidade, a frequência, o conforto e a confiabilidade no serviço, mas principalmente pelas condições sócio-econômicas deste grupo e por seu estilo de vida. Na verdade, os usuários dos STPP's brasileiros situam-se, em sua maioria, nas classes B e C, estando os das classes D e E atualmente em desvantagem com relação à sua capacidade de realizar viagens, devido não só à inadequação da oferta dos serviços, mas principalmente ao impacto do crescimento das tarifas em relação à renda familiar (Gomide, 2003). De acordo com pesquisa realizada por Andrade (2000), as despesas com os serviços de transporte público das famílias com renda mensal de até 3 salários mínimos estão pesando cada vez mais em seus orçamentos familiares.

Ainda segundo Gomide (2003), além da queda de renda e do aumento das tarifas, outros fatores do ambiente econômico e social, tais como a ampliação do desemprego e o crescimento da informalidade do trabalho, influenciam diretamente na expulsão da população mais pobre do grupo de usuários do transporte público. O desemprego associado à informalidade do trabalho impacta na utilização do principal instrumento de subsídio ao usuário e de financiamento dos sistemas de transporte urbano no país: o vale-transporte. De acordo com a pesquisa realizada pelo ITRANS (2003), as pessoas que não recebem esse tipo de auxílio têm seu raio de deslocamento restringido, e por conseguinte suas oportunidades de emprego reduzidas, forçando-os a permanecerem com as opções de morar próximo ao local de trabalho ou de procurar sustento perto do local de moradia.

Outros fatores que restringem a mobilidade desta parcela dos usuários do transporte coletivo relacionam-se à inadequação dos serviços, ao aumento da violência urbana e às dificuldades de transporte de crianças e pessoas com necessidades especiais para lazer e diversão. A inadequação dos serviços se traduz no excessivo tempo de espera pelos ônibus, nas elevadas

taxas de ocupação veicular nos períodos de pico, nos engarrafamentos, horários irregulares e escassez de serviços nos finais de semana; já a violência refere-se à falta de segurança nos pontos de parada e à ocorrência de assaltos no interior dos veículos e nos terminais.

Essa situação de queda da mobilidade dos usuários do transporte público é um fenômeno que vem acontecendo não só no Brasil, como em vários países em desenvolvimento, conforme identificado por Gakenheimer (1999). O autor destaca que a queda de mobilidade está também relacionada ao aumento dos congestionamentos que são causados por vários fatores, tais como: (a) crescimento das taxas de motorização da população; (b) oferta insuficiente de infraestrutura viária; (c) estrutura urbana incompatível com uma maior motorização; (d) manutenção inadequada das vias; dentre outros. Com o aumento dos congestionamentos nas grandes cidades brasileiras, os serviços dos STPP's, que são fortemente baseados nos modais rodoviários operando em vias de tráfego misto, ficam ainda menos atrativos em relação ao transporte individual, incentivando ainda mais a aquisição de automóveis (especialmente nas classes B e C), além de comprometer a mobilidade das famílias de renda mais baixa, já que contribuem para o aumento dos custos e para a redução da atratividade do serviço.

Uma estratégia que vem sendo adotada para a melhoria dessa situação é o Gerenciamento da Mobilidade (Pereira *et al.*, 2002) que consiste no gerenciamento da demanda por viagens sem que seja necessário expandir a infra-estrutura de transportes existente. Os principais fundamentos dessa estratégia são a priorização do transporte público e, algumas vezes, a penalização dos deslocamentos por automóvel. Busca-se com essa estratégia atingir a situação definida em Cervero (1998), apud Pereira *et al.* (2002), como “a cidade que se transporta”, ou seja, cidades onde ocorre um ajuste perfeito entre a distribuição espacial das atividades existentes e o funcionamento dos sistemas de transportes. Alguns trabalhos vêm apontando medidas seguindo essa estratégia (ITRANS, 2003), onde são feitas proposições buscando a melhoria da qualidade dos STPP's e sua priorização de circulação em relação ao tráfego geral.

3. CONCEITOS E APLICAÇÕES DO FERRAMENTAL DE ANÁLISE ESPACIAL

Na análise do fenômeno da mobilidade urbana, torna-se imprescindível caracterizar e diagnosticar o padrão de distribuição espacial dos domicílios da população de baixa renda, da oferta de empregos e vagas escolares na área em estudo, assim como da acessibilidade provida pelo sistema de transporte público. Com certeza, nenhum desses fatores apresenta uma distribuição uniforme e homogênea nas grandes e médias cidades brasileiras. Percebe-se claramente que, como no caso de Fortaleza, o processo excludente de adensamento e ocupação das grandes urbes no Brasil resultou numa intensa concentração das pessoas de baixa renda nas áreas periféricas, distantes dos pólos atratores de viagens, resultando numa configuração de rede de transporte público que penaliza fortemente este tipo de usuário. Portanto, para entender o comportamento da variável mobilidade, faz-se essencial a aplicação de ferramentas de análise que permitam quantificar a variação espacial dos dados observados.

Embora ainda pouco utilizado pela comunidade técnico-científica brasileira, como destacado nas pesquisas de dissertação de mestrado de Teixeira (2003) e Queiroz (2003), o ferramental da Análise Espacial, incluindo as novas técnicas descritivas e inferenciais da Estatística Espacial, associado a uma plataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG), apresenta-se com um enorme potencial de aplicação na caracterização e diagnóstico dos fenômenos urbanos e regionais relacionados ao sistema de transportes. Segundo Câmara *et al.* (2001a), estas ferramentas de análise exploratória e confirmatória podem ser classificadas em quatro grupos: análise de padrões pontuais; análise de superfícies; análise de redes; e análise em áreas – foco deste trabalho.

A análise exploratória em áreas refere-se à análise espacial de eventos cuja localização está associada a polígonos fechados, tais como zonas de tráfego, tendo como objetivo identificar a existência de padrões espaciais, de áreas críticas e de tendências de crescimento. Suas ferramentas estatísticas permitem descrever e visualizar distribuições espaciais, descobrir padrões de associação espacial (aglomerados), sugerir a existência de instabilidades espaciais (não-estacionariedade) e identificar observações atípicas (valores extremos) (Câmara *et al.*, 2001b). Sua fundamentação teórica está baseada nos conceitos da estatística espacial que, ao contrário do pressuposto de independência dos eventos adotado pela estatística tradicional, pressupõe a dependência espacial dos dados analisados (Cressie, 1993). Este conceito é expresso computacionalmente pela autocorrelação espacial, a qual pode ser entendida como a tendência a que o valor de uma ou mais variáveis associadas a uma determinada localização assemelhe-se mais aos valores de suas observações vizinhas do que ao restante das localizações do conjunto amostral.

Para estimar a variabilidade espacial de dados de área, uma ferramenta básica é a matriz de adjacência conhecida também como matriz de proximidade espacial W , a qual consiste em uma matriz quadrada de ordem N , onde N é o número de eventos observados e os elementos w_{ij} representam a interação entre cada par de elementos observados i e j . Esta interação refere-se à relação topológica entre as observações i e j , geralmente sendo considerada a relação de contigüidade. Desta forma, W pode ser uma matriz binária (0,1), onde 1 está relacionado às zonas com fronteiras em comum e 0 àquelas sem esta propriedade. Os resultados provenientes da matriz de proximidade são utilizados no cálculo dos indicadores de análise exploratória, que por sua vez, são as ferramentas utilizadas na caracterização do arranjo espacial dos eventos. Estes indicadores buscam avaliar não só a posição absoluta dos eventos no espaço, mas também identificar a sua distribuição relativa, de forma a detectar padrões de aglomerações espaciais, verificando se os eventos observados apresentam algum tipo de padrão sistemático ou se estão distribuídos aleatoriamente no espaço (Câmara *et al.*, 2001b).

Os indicadores que consideram todas as observações amostradas na análise são conhecidos como estatísticas globais. Estes indicadores, a exemplo do Índice Global de Moran, indicam o grau de dependência entre os dados por meio de um único valor, caracterizando a dependência espacial presente em todo o conjunto de dados, sendo possível também a sua visualização através do Diagrama de Espalhamento de Moran, proposto por Anselin (1992). Este diagrama consiste na construção de um gráfico bidimensional de Z (valores normalizados) por WZ (média dos vizinhos) e permite analisar o comportamento da variabilidade espacial, indicando os diferentes regimes espaciais de associação presentes nos dados, podendo também ser apresentado na forma de um mapa temático bidimensional conhecido como *Box Map*, no qual cada polígono é apresentado indicando-se seu quadrante no diagrama de espalhamento.

Um dos problemas relacionados às estatísticas globais diz respeito aos casos em que a área de estudo está muito subdividida, sendo muito provável que ocorram diferentes regimes de associação espacial e que apareçam locais em que a dependência espacial é ainda mais pronunciada. Com este intuito foram desenvolvidas as estatísticas locais, como o Índice Local de Moran, que quantificam o grau de associação espacial a que cada localização do conjunto amostral está submetida em função de um modelo de vizinhança pré-estabelecido. Essas estatísticas apresentam a vantagem de decompor os indicadores globais em contribuições individuais, caracterizando em um mapa, chamado de *Lisa Map*, regiões ou “bolsões” de não estacionariedade e aglomerados (*clusters*) significativos de valores semelhantes em torno de

determinadas localizações (Anselin, 1992). Além dos mapas de significância, há uma outra ferramenta utilizada na exploração de padrões de associação espacial conhecida como *Moran Map*, que classifica em quatro grupos somente os objetos para os quais os valores do índice local de Moran foram considerados significantes, conforme o quadrante aos quais pertencem no gráfico de espalhamento de Moran.

Como exemplos de aplicações de técnicas de análise exploratória em áreas na avaliação do comportamento espacial de fenômenos relacionados ao sistema de transportes, agregados por zona de tráfego, bairros ou setores censitários, pode-se citar inicialmente o trabalho desenvolvido por Grengs (2001). Nesta aplicação, o autor faz uso de ferramentas de autocorrelação global e local para avaliar a influência de características sócio-econômicas sobre a acessibilidade de americanos de baixa renda, cativos do transporte público, a grandes supermercados. Ramos e Silva (2003), por sua vez, desenvolveram uma metodologia de definição de regiões metropolitanas baseada na aplicação do mesmo ferramental para identificar aglomerados com forte concentração espacial de densidade populacional. Vale destacar ainda o trabalho de Queiroz e Loureiro (2003), que apesar de ter suas análises focadas na área de segurança viária, demonstrou o potencial de aplicação da análise exploratória em áreas para a caracterização de eventos pontuais (acidentes de trânsito), contabilizados via uma taxa de ocorrência por unidade de extensão da malha viária e agregados em zonas de tráfego.

4. ANÁLISE DA MOBILIDADE DOS USUÁRIOS CATIVOS DO SIT-FOR

A análise apresentada neste tópico baseia-se na avaliação do comportamento espacial da taxa de mobilidade dos usuários cativos do SIT-FOR por meio das técnicas de análise exploratória em áreas. Inicialmente são feitas considerações sobre a distribuição espacial das variáveis que definem essa taxa (viagens produzidas e domicílios), para em seguida ser feita a caracterização espacial da variável mobilidade, por meio de técnicas de visualização de dados (mapas temáticos) e da aplicação dos índices de autocorrelação global e local de *Moran*, disponibilizados no software SPRING (INPE, 2003), cujos resultados são aqui apresentados através de *Moran Maps*.

4.1. Definição da taxa de mobilidade

A variável escolhida para representar a mobilidade dos usuários cativos do SIT-FOR foi a taxa de viagens/domicílio, onde o numerador representa as viagens produzidas em um dia típico pelos usuários do transporte coletivo, na hora de pico da manhã (6:30-7:30), e o denominador expressa os domicílios cuja renda corresponde à classe social dos usuários cativos do sistema. Os dados sobre as viagens de transporte coletivo utilizados neste estudo são provenientes da matriz O/D estimada a partir da pesquisa domiciliar realizada em 1996, para os estudos de viabilidade do METROFOR, atualizada em 2000 durante os Estudos de Integração dos Transportes na Região Metropolitana de Fortaleza, correspondendo, porém, a deslocamentos produzidos por domicílios de todas as classes sociais. Infelizmente, não estão disponíveis os dados sócio-econômicos desagregados das pessoas entrevistadas naquela pesquisa domiciliar. Portanto, foram utilizados os dados da Base de Informações por Setor Censitário - BIS (IBGE, 2000), que disponibiliza a estratificação dos domicílios por faixa de renda, sendo necessária então alguma consideração sobre quais classes sociais estariam mais propensas a utilizar os serviços de transporte coletivo em Fortaleza.

Para tanto, buscou-se estabelecer um limite salarial para os domicílios considerados no cálculo da taxa de mobilidade. Segundo os resultados da pesquisa de opinião realizada em 1999 junto aos usuários do SIT-FOR (Ferreira, 2001), mais de 80% destes usuários

pertenciam às classes sociais D/E, como apresentado na Figura 1; fenômeno este que diverge do panorama geral das metrópoles brasileiras, onde o maior percentual de usuários concentra-se nas classes B/C (SEDU/PR, 2002). Portanto, para que a taxa calculada refletisse basicamente a mobilidade dos usuários cativos do SIT-FOR, foram considerados apenas os domicílios com renda máxima de 5 salários mínimos, patamar correspondente ao limite superior da classe social D, segundo o Critério Brasil (ANEP, 2000).

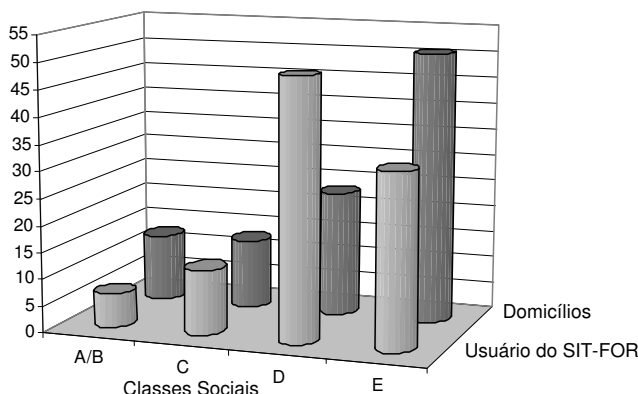


Figura 1: Distribuição dos domicílios comparada com a distribuição dos usuários do SIT-FOR por classes sociais – Fortaleza (Ferreira 2001 e IBGE, 2000).

Considerando que no numerador estão sendo consideradas todas as viagens realizadas no transporte coletivo, constata-se uma superestimação das taxas de mobilidade calculadas nas zonas de tráfego de Fortaleza. Entretanto, acredita-se que este efeito não seja muito significativo já que o percentual de viagens realizadas por usuários da classe C gira em torno de apenas 12%, com as classes A/B respondendo por menos de 6% da demanda. Por fim, deve-se destacar que os valores de taxa de mobilidade, inferiores a 1,0 em quase todas as zonas, foram multiplicados por 100 para facilitar as comparações entre zonas.

4.2. Caracterização Espacial da Taxa de Mobilidade dos Usuários Cativos do SIT-FOR

Na análise da mobilidade dos usuários cativos do SIT-FOR, foi inicialmente avaliado o comportamento espacial das duas variáveis que definem a taxa de mobilidade: quantidade de viagens produzidas no transporte coletivo e quantidade de domicílios com renda até 5 salários mínimos. A caracterização da distribuição dessas variáveis sobre a área do município tem como objetivo identificar regiões de comportamento espacial semelhantes e distintos, buscando avaliar seu grau de associação espacial e os efeitos sobre a definição de uma taxa de mobilidade relativa.

No caso da primeira variável, as técnicas de análise exploratória indicaram uma concentração de zonas com valores elevados de produção de viagens nas regiões periféricas da cidade, principalmente nas áreas noroeste e sudoeste, como pode ser observado no mapa de distribuição das viagens da Figura 2a. Além disso, o Índice Global de *Moran* apontou um valor de 0,21, comprovando a existência de dependência espacial entre as viagens produzidas. Analisando-se o *Moran Map* da Figura 2b, observa-se a existência de:

- dois grandes pólos de produção de viagens situados na região oeste da cidade (classe 1);
- duas zonas na área central e uma na periferia leste da cidade que apresentam uma produção de viagens bastante reduzida (classe 2);

- zonas que destoam dos níveis das zonas vizinhas: três na região leste e uma na região centro-oeste com alta produção de viagens (classe 3), assim como três na região oeste com baixa quantidade de viagens produzidas (classe 4).

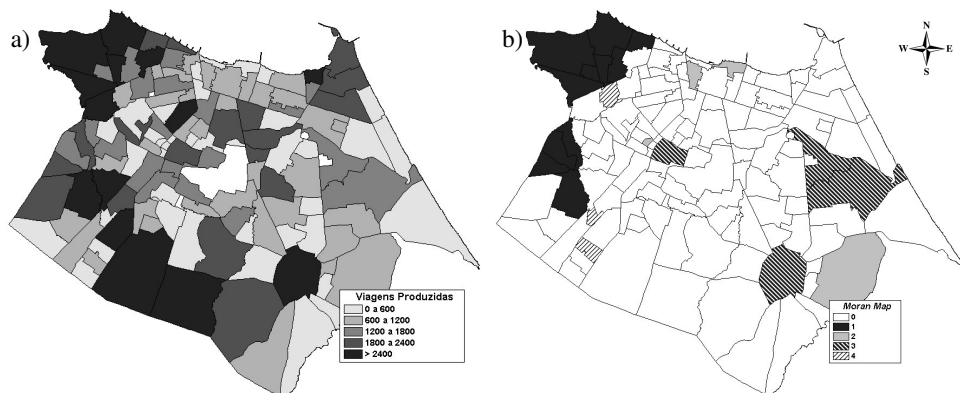


Figura 2: Distribuição espacial e *Moran Map* das viagens produzidas no transporte coletivo.

Com relação aos domicílios das classes sociais D/E, a distribuição espacial apresentada na Figura 3a indica uma concentração de domicílios de baixa renda nas áreas periféricas da cidade, porém numa faixa mais ampla que a da variável viagens produzidas. Além disso, o Índice Global de *Moran* igual a 0,28 confirma a existência de uma maior dependência espacial na localização desses domicílios. No *Moran Map* da Figura 3b, observa-se que tanto a região de maior concentração de domicílios (classe 1), quanto a região com menor concentração (classe 2), abrangem uma área maior do que as delimitadas nas mesmas classes para as viagens produzidas. Portanto, justifica-se a análise da mobilidade por meio da taxa de viagens relativamente ao número de domicílios de baixa renda em cada zona, já que ambas apresentam distribuições espaciais não coincidentes.

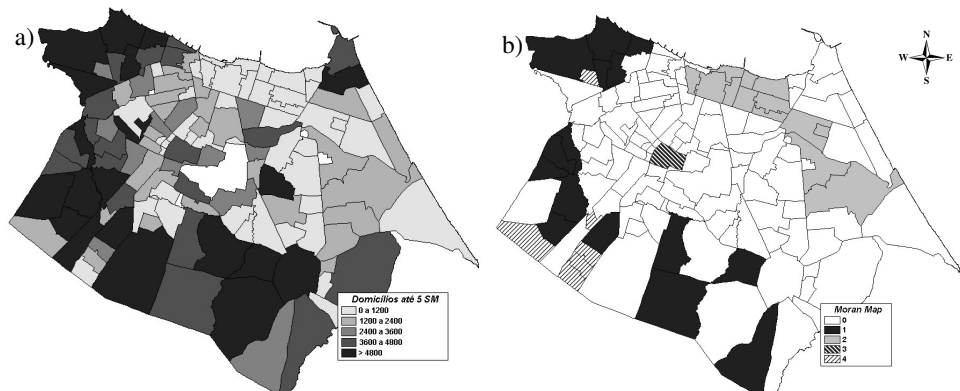


Figura 3: Distribuição espacial e *Moran Map* dos domicílios de baixa renda.

A distribuição espacial da taxa de mobilidade, mostrada na Figura 4a, revela um padrão diferente do encontrado nas duas variáveis anteriores, com uma grande concentração de zonas com altas taxas de mobilidade na região nordeste da cidade. Além disso, observando-se o *Moran Map* da Figura 4b, com Índice Global de *Moran* igual a 0,24 (indicando que a

mobilidade dos usuários de transporte coletivo em Fortaleza é um evento geograficamente dependente), é possível verificar a existência de três pólos distintos:

- Regiões 1 e 2: zonas com baixa mobilidade nas regiões periféricas a sudoeste e sul da cidade (classe 2);
- Região 3: maioria das zonas com elevada mobilidade (classe 1) e três zonas com baixa mobilidade localizadas em uma área de alta mobilidade (classe 3) concentradas na região nordeste da cidade;
- Uma zona localizada no perímetro norte da Região 1, que pode ser caracterizada como uma zona de alta mobilidade localizada em uma área de baixa mobilidade (classe 3).

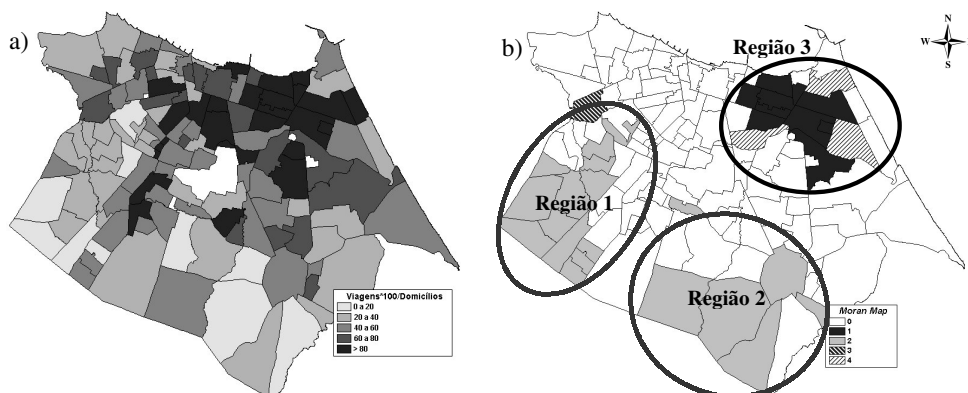


Figura 4: Distribuição espacial e *Moran Map* da taxa de mobilidade

5. EXPLICAÇÃO DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL DA MOBILIDADE

Acredita-se que as três regiões destacadas na Figura 4b apresentam esse comportamento provavelmente devido ao forte relacionamento das taxas de mobilidade com características sócio-econômicas ou de oferta de serviços de transporte coletivo, sendo esta hipótese investigada nas seções a seguir.

5.1. Correlação Espacial entre Mobilidade e Renda

Conforme discutido anteriormente, estudos recentes em metrópoles brasileiras (SEDU/PR, 2002; ITRANS, 2003) têm destacado a influência de variáveis sócio-econômicas na mobilidade dos usuários de transporte coletivo. Em particular, a variável renda tem sido apontada como sendo um dos principais fatores limitadores da utilização do transporte coletivo nas classes D/E. No caso de Fortaleza, apesar da concentração de usuários ocorrer justamente nestas classes, a renda também parece ser um fator limitante da mobilidade urbana. Observando-se a distribuição espacial da renda média dos domicílios das classes D/E, apresentada no mapa da Figura 5a, é possível perceber que os domicílios de renda mais baixa estão localizados em todas as áreas periféricas da cidade. Além disso, é possível verificar, pelo *Moran Map* da Figura 5b, que a renda ajuda a explicar o comportamento espacial da taxa de mobilidade em algumas regiões, já que:

- as zonas localizadas mais à direita na classe 1 fazem parte tanto de uma região com alta mobilidade (classe 1 na Figura 4b), quanto de uma região com renda mais elevada;
- das regiões de baixa mobilidade identificadas na Figura 4b (Regiões 1 e 2), apenas as zonas localizadas na região sudoeste da cidade (Região 1) foram caracterizadas como zonas de baixa renda com significância espacial (classe 2);
- a única zona de alta mobilidade localizada em uma região de baixa mobilidade (classe 3 na Figura 4b) também foi caracterizada como uma zona de alta renda localizada em uma região de baixa renda (classe 3 na Figura 5b);

- uma das três zonas de baixa mobilidade (classe 4 na Figura 4b) localizadas na Região 3, de alta mobilidade, foi também classificada como uma zona de renda baixa em uma região de renda mais elevada.

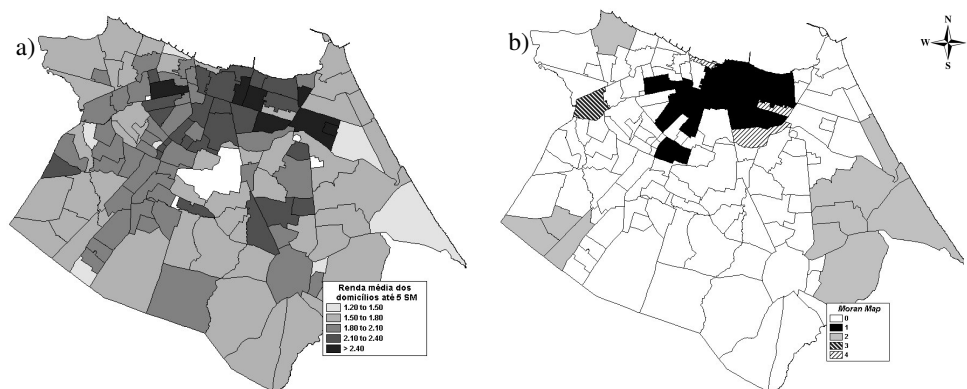


Figura 5: Distribuição espacial e *Moran Map* da renda média dos domicílios com até 5 salários mínimos

Entretanto, em algumas regiões a concentração espacial da taxa de mobilidade (Figura 4b) não conseguiu ser explicada unicamente pela concentração espacial da renda (Figura 5b):

- algumas zonas de alta mobilidade, mais à direita na Região 3, não foram identificadas como zonas de renda mais elevada com significância espacial;
- algumas zonas de baixa mobilidade na Região 1, assim como todas as zonas da Região 2, não foram classificadas como de renda mais baixa com significância espacial;
- as zonas de baixíssima renda localizadas na periferia leste da cidade não foram classificadas como de mobilidade baixa com significância espacial.

5.2. Correlação Espacial entre Mobilidade e Acessibilidade aos Empregos

O conceito de acessibilidade foi definido primeiramente por Hansen (1959), apud Davidson (1977), utilizando a expressão:

$$A_i = \sum_j S_j f(c_{ij}) \quad (1)$$

onde: A_i : acessibilidade na zona i ;

S_j : medida da atividade na zona j ;

c_{ij} : medida do custo de interação entre as zonas i e j , de tal forma que $f(c_{ij})$ é a medida da impedância de viagem entre i e j .

Um importante aspecto deste conceito de acessibilidade é que ele combina, em uma única medida, as características relevantes tanto de uso do solo quanto do sistema de transporte. Na tentativa de interpretar a parte do fenômeno da concentração espacial da mobilidade dos usuários cativos do transporte público em Fortaleza, não explicada pela variação espacial da renda, decidiu-se analisar o padrão de distribuição espacial do nível de acessibilidade, provido atualmente pelo SIT-FOR, destes usuários às zonas concentradoras de empregos na cidade. Para tanto, a acessibilidade dos moradores de uma determinada zona foi definida, segundo a Equação 2, como o tempo médio de deslocamento (medida de impedância) na rede de transporte coletivo para atingir as principais zonas de emprego (medida de atividade). Vale destacar que o conceito dessa variável é, na verdade, inverso ao de acessibilidade. Porém,

entendeu-se ser este um conceito mais diretamente relacionado ao nível de serviço experimentado pelos usuários nos deslocamentos casa-trabalho realizados no pico da manhã.

$$\bar{T}_i = \frac{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N T_{ij} E_j}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N E_j} \quad (2)$$

onde, T : tempo médio de viagem da zona i ;
 T_{ij} : tempo de viagem entre as zonas i e j ;
 E_j : número de empregos ofertados na zona j .

O tempo de viagem utilizado na análise da acessibilidade é proveniente de uma alocação do tipo tudo-ou-nada, com penalidades nos pontos de parada e terminais, realizada na rede de simulação do transporte coletivo, digitalizada no *software* TRANSCAD (Caliper, 2001). Este tempo refere-se ao tempo total de viagem dos usuários do SIT-FOR, englobando as parcelas de tempo referentes às caminhadas, à espera no ponto de parada, ao deslocamento dentro do veículo, além dos transbordos nos terminais. O mapa temático e o *Moran Map* dessa variável são apresentados nas Figuras 6a e 6b, respectivamente, e de sua análise depreende-se que:

- a região de baixos tempos médios de viagem (classe 2), ou de alta acessibilidade, praticamente coincide com a região de alta renda (classe 1 da Figura 5b), exceto pela primeira englobar algumas zonas na parte mais a sudoeste do centro da cidade, adjacentes ao principal corredor de transporte público de Fortaleza;
- a região de tempos médios elevados (classe 1), ou de baixa acessibilidade, está concentrada nas áreas periféricas ao sul e sudeste da cidade, coincidindo parcialmente com a Região 2 de baixa mobilidade, identificada na Figura 4b.

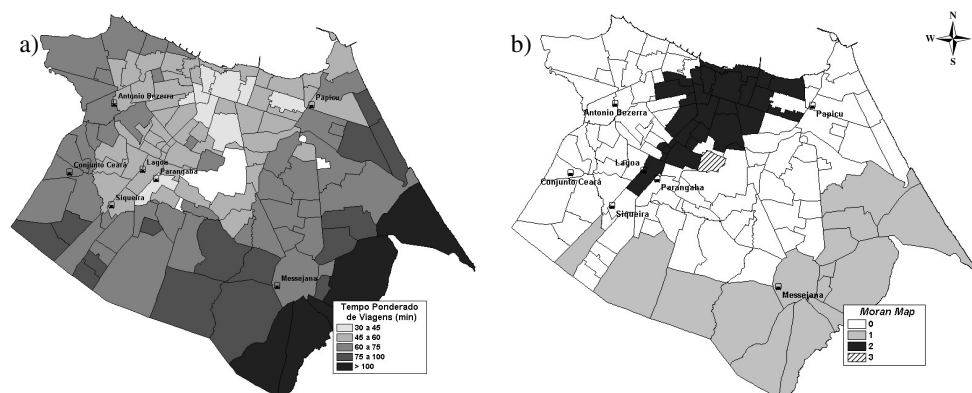


Figura 6: Distribuição espacial e *Moran Map* da acessibilidade dos usuários do SIT-FOR.

6. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste trabalho permitiram caracterizar de forma eficaz o comportamento da mobilidade dos usuários cativos do transporte coletivo por toda a área da cidade de Fortaleza. As ferramentas de análise espacial exploratória em áreas identificaram regiões de padrões semelhantes que foram explicadas, em sua maioria, ou pela renda média dos domicílios ou pela acessibilidade aos principais pólos geradores de empregos. No diagnóstico das regiões de baixa mobilidade, identificadas na Figura 4b, constata-se que as baixas taxas de

viagens produzidas por domicílio na Região 1 estão correlacionadas com um padrão de renda bastante reduzido; enquanto que na Região 2, a explicação para a baixa mobilidade resulta principalmente dos baixos níveis de acessibilidade, isto é, dos elevados tempos médios de deslocamento às zonas atratoras de viagens por motivo trabalho. Observa-se também que a Região 1 está em uma área atendida por vários terminais de integração do SIT-FOR, resultando numa boa acessibilidade; ao mesmo tempo que a Região 2 compreende zonas com renda média semelhante as zonas da Região 1. Ou seja, poder-se-ia concluir que intervenções na oferta de serviços do SIT-FOR acarretariam num aumento da mobilidade na Região 2. Entretanto, esse fato deve ser avaliado com mais profundidade já que a Região 2 está localizada nas proximidades de um subcentro de Fortaleza, o bairro de Messejana, que pode estar atraindo uma quantidade significativa de viagens não-motorizadas.

Já as altas taxas de mobilidade das zonas incluídas na Região 3 não foram, a princípio, totalmente caracterizadas pela análise espacial das variáveis renda e acessibilidade. Essas zonas estão inseridas na área de mais alto poder aquisitivo da cidade (representada pela Grande Aldeota, Papicu, Parque do Cocó e adjacências), com significativa oferta de linhas alimentadoras, circulares e troncais. Entretanto, a variável renda definida nesta análise se restringiu aos domicílios com renda média do chefe da família inferior a 5 salários mínimos. Portanto, pode-se concluir que parte significativa das viagens de transporte coletivo produzidas nestas zonas deva ser de usuários das classes B/C, refletindo o efeito da superestimação da taxa de mobilidade, destacado no final da seção 4.1. Outro aspecto a ser considerado é que nesta faixa de renda mais alta, o percentual de viagens produzidas no pico manhã por outros motivos diferentes de trabalho tende a ser mais elevado, especialmente aquelas por motivo estudo. Como o indicador de acessibilidade foi ponderado somente em função da localização dos empregos formais, pode-se esperar distorções na significância da acessibilidade nessas zonas. Quanto às zonas consideradas como *outliers* na distribuição espacial da mobilidade (classes 3 e 4 na Figura 4b), estas foram perfeitamente explicadas pela caracterização espacial da renda. A zona de classe 3, ao norte da Região 1, apresenta renda mais alta do que suas vizinhas, reflexo da atratividade gerada pelas indústrias localizadas nas proximidades; enquanto que as zonas da classe 4, periféricas à Região 3, são zonas de renda mais baixa que suas vizinhas, compostas em sua maioria por edificações construídas em ocupações irregulares que foram realizadas buscando se aproximar dos locais de trabalho.

Mesmo com as limitações impostas pelo uso de uma matriz O/D agregada, pode-se concluir que a análise espacial das variáveis consideradas indicou uma forte correlação entre a renda dos usuários cativos do SIT-FOR e a sua intensidade de utilização do sistema, bem como evidenciou o efeito negativo sobre a mobilidade quando estes usuários residem em áreas com serviço de transporte deficiente. Recomenda-se a consideração destas e de outras variáveis sócio-econômicas, de transportes ou mesmo de uso do solo, no desenvolvimento de modelos confirmatórios de estatística espacial, tais como a regressão múltipla geponderada, como forma de entender melhor e intervir positivamente no fenômeno da mobilidade urbana.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio financeiro do CT-Transporte e do CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEP (2000) *Critério de Classificação Econômica Brasil*. Associação Nacional de Empresas de Pesquisa de Mercado. Disponível em: www.anep.org.br/codigosguias/CCEB.pdf. Acesso em 10/06/2004.
- Andrade, T. A. (2000) *Dispêndio domiciliar com o serviço de saneamento e demais serviços de utilidade pública: Estudo da sua participação no orçamento familiar*. Relatório Final. Brasília, DF.

- Anselin, L. (1992) *Spatial data analysis with GIS: An introduction to application in the Social Science*. Technical Report 92-10 – National Center for Geographic Information and Analysis. University of Califórnia – Califórnia, EUA. Disponível em < http://www.ncgia.ucsb.edu/Publications/Tech_Reports/92/92-10.PDF>. Acesso em 15/12/2002.
- Câmara, G.; A. M. V. Monteiro; S. Druck e M. S. Carvalho (2001a) *Análise Espacial e Geoprocessamento*. In: Fuks, S. D.; M. S. Carvalho; G. Câmara; A. M. V. Monteiro (eds.), *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em 18/10/2002.
- Câmara, G.; M. S. Carvalho; O. G. Cruz e V. Correa (2001b) *Análise de Dados de Área*. In: Fuks, S. D.; M. S. Carvalho; G. Câmara; A. M. V. Monteiro (eds.), *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em 18/10/2002.
- Caliper (2001) TransCAD - Transportation Workstation Software, User's Guide, Version 4.0 for Windows, Caliper Corporation, Newton, EUA.
- Cervero, R. (1998) *The Transit Metropolis: a Global Inquiry*. Island Press.
- Cressie, N. A. C. (1993) *Statistics for Spatial Data*. Revised Edition. John Wiley & Sons Inc., Nova York, EUA.
- Davidson, K. B. (1977) Accessibility in Transport/Land-use Modelling and Assessment. *Environment and Planning A*, 1977, volume 9, pp. 1401-1416.
- Ferreira, A. S. (2001) Uma Análise da Satisfação dos Usuários em Relação ao Sistema Integrado de Transportes Coletivo no Município de Fortaleza. Monografia de Especialização. Universidade Federal do Ceará.
- Gakenheimer, R. (1999) Urban Mobility in the Developing World. *Transportation Research Part A*, n. 33, pp. 671-689.
- Gomide, A. A. (2003) Mobilidade Urbana e Inclusão Social: desafios para o transporte urbano no Brasil. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*, nº 100, pp. 57-64.
- Grengs, J. (2001) Does Public Transit Counteract the Segregation of Carless Households? Measuring Spatial Patterns of Accessibility with GIS, *Transportation Research Board – 80th Annual Meeting*, January 7-11, Washington, D.C. Paper Nº 20025.
- IBGE (2000) *Fortaleza - Base de informações por setor censitário da área urbana dos distritos-sede - Censo demográfico 2000 - Resultados do universo (2304400)*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Disponível em CD-ROM.
- INPE (2003) SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>>. Acesso em 20/12/ 2002.
- ITRANS (2003) Mobilidade e Pobreza. Instituto de Desenvolvimento e Informação em Transporte. Relatório Preliminar. Disponível em <http://www.itrans.org.br/mobilidade_pobreza>. Acesso em 15/09/2003.
- Hansen, W. G. (1959) How Accessibility shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners* 25 (2) 73-76.
- Pereira, C. M. C., Araújo, A. M., Balassiano, R. (2002) Integração de Sistemas de Transportes como Estratégia de Gerenciamento da Mobilidade. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Natal, v.2, p.313-325.
- Queiroz, M. P. (2003) *Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza*. 124 fl., Dissertação de Mestrado – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- Ramos, R.A.R. and Silva, A.N.R. (2003) A data-driven approach for the definition of metropolitan regions, *Proceedings of the 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*. Sendai, Japan, 27-29 May.
- SEDU/PR (2002) Motivações que regem o novo perfil de deslocamento da população urbana brasileira: pesquisa de Imagem e opinião sobre os transportes urbanos. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República. Grupo Executivo de Transporte Urbano. Relatório Final. Brasília, DF.
- Tagore, M.R. e Skidar, P.K. (1995) A new accessibility measure accounting mobility parameter. Paper presented at 7th world conference on transport research. The University of New South Wales, Sidney, Australia.
- Teixeira, G. L. (2003) *Utilização de Dados Censitários para Identificação de Zonas Homogêneas para Planejamento de Transportes Utilizando Estatística Espacial – MT/ENC/UnB*, Brasília, DF.

Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes
Campus do Pici – Bloco 703 – CP 12.144
CEP 60.455-760 – Fortaleza, CE

Fone/Fax: (0xx85) 288-9488
E-mail: camila@det.ufc.br
felipe@det.ufc.br
racavalcante@arce.ce.gov.br