

# **CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL DA ACESSIBILIDADE DOS USUÁRIOS 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

## **RESUMO**

Este artigo apresenta uma análise espacial das características da acessibilidade dos usuários do Sistema Integrado de Transportes de Fortaleza (SIT-FOR), considerando-as sobre dois enfoques distintos: microacessibilidade e macroacessibilidade. No primeiro enfoque, são analisados os aspectos relacionados à acessibilidade locacional e temporal dos usuários, enquanto no segundo caracteriza-se espacialmente um índice que retrata a acessibilidade dos usuários às principais zonas de emprego da cidade. A metodologia adotada neste estudo se baseou na aplicação do ferramental de análise espacial em plataforma SIG, especificamente das rotinas de seleção, manipulação e análise exploratória em áreas, com o objetivo de identificar o padrão de distribuição espacial, as áreas críticas e as tendências de crescimento das variáveis que representam a acessibilidade, de forma a caracterizar o seu comportamento ao longo de todo o município de Fortaleza.

## **ABSTRACT**

This paper presents a spatial analysis of the users' accessibility characteristics of Fortaleza's Integrated Public Transport System (SIT-FOR), based on two distinct approaches: microaccessibility and macroaccessibility. In the first approach, the aspects related to the users' spatial and temporal accessibility are analyzed, while in the second approach it is spatially characterized an index that depicts the users' accessibility to the main working zones. The methodology applied in this study was based on the use of spatial analysis tools within a GIS platform, specifically routines of selection, manipulation and area exploratory analyses, with the objective of identifying the spatial distribution pattern, critical areas and growth trends of the variables representing accessibility, as a means of characterizing their behavior over the entire Fortaleza County.

## **1. INTRODUÇÃO**

O processo de urbanização das grandes e médias cidades brasileiras, caracterizado, em geral, pela segregação das populações de baixa renda por meio da construção de conjuntos habitacionais nas suas áreas periféricas, tem gerado vazios urbanos para especulação do uso do solo e influenciado bastante na forma como os Sistemas de Transporte Público de Passageiros (STPP) têm sido planejados e operados. Segundo Boareto (2003), estes sistemas acabam funcionando como elementos indutores da ocupação desordenada das cidades, proporcionando a fragmentação do espaço urbano, consolidando bairros residenciais cada vez mais distantes dos locais de trabalho e de lazer, e assim contribuindo para o isolamento da população mais carente na periferia dos grandes centros, comprometendo sua mobilidade. Portanto, a estruturação adequada do STPP, de forma a atender os desejos e necessidades de deslocamento da população, com redução das distâncias de caminhada, tanto na origem como no destino, com menores tempos de espera, com conexões coordenadas e mais rápidas, além de tarifas compatíveis com a renda, torna-se fundamental para a promoção da garantia do direito de acesso à cidade e a inclusão de uma grande parcela da população que se encontra alijada do transporte público urbano.

Neste contexto, analisar a acessibilidade proporcionada pelo STPP a seus usuários pode se constituir no principal meio para avaliar a qualidade do serviço de transporte ofertado, estabelecendo as bases para um melhor entendimento da problemática associada à baixa mobilidade das populações de baixa renda nas grandes cidades brasileiras (Henrique *et al.*, 2004). Dessa forma, considerando as peculiaridades relativas aos diferentes conceitos de acessibilidade urbana, este trabalho se propõe a analisar o comportamento espacial tanto dos aspectos locacional e temporal da acessibilidade dos usuários do Sistema Integrado de

Transporte de Fortaleza (SIT-FOR), como a acessibilidade dos mesmos às principais zonas de emprego da cidade. Para tanto, foi utilizado um ferramental de análise espacial exploratória, com o objetivo de identificar o padrão de distribuição espacial, as áreas críticas e as tendências de crescimento da acessibilidade dos usuários do SIT-FOR, e assim caracterizar o seu comportamento ao longo de todo o território de Fortaleza.

## **2. ACESSIBILIDADE DOS USUÁRIOS DO TRANSPORTE PÚBLICO**

Segundo Sanches (1996), a acessibilidade dos usuários de transporte público é influenciada tanto pela disponibilidade do serviço e configuração da rede, como pela distribuição espacial das atividades. A disponibilidade do serviço reflete a microacessibilidade dos usuários, ou seja, o nível de facilidade com que os mesmos conseguem acessar o sistema. Já os dois últimos parâmetros influenciam na sua macroacessibilidade, a qual indica o grau de facilidade ou de dificuldade ofertada aos usuários na realização de viagens entre pares de zonas de origem e destino (Ortuzar e Willumsen, 1994).

Ao se analisar os aspectos relacionados à microacessibilidade dos usuários, devem ser considerados tanto aqueles influenciadores da sua acessibilidade locacional, como da temporal. No caso da acessibilidade locacional, os aspectos influenciadores incluem a proximidade dos terminais e pontos de embarque/desembarque, como também a distribuição das linhas na rede (cobertura espacial), tendo como parâmetro básico o tempo despendido da origem ao ponto de embarque, ou do ponto de desembarque ao destino da viagem. Já no caso da acessibilidade temporal, a mesma pode ser aferida pela frequência do serviço ou pelo tempo de espera médio, que segundo Ferraz e Torres (2001), é mais recomendado por ser de fácil percepção pelos usuários.

Considerando-se o enfoque de macroacessibilidade, que avalia a facilidade com que uma dada área, com certas atividades atraentes, pode ser alcançada a partir de uma zona particular por meio de um determinado sistema de transportes, tanto a configuração da rede, como a distribuição espacial das atividades, apresentam-se como aspectos relevantes. No caso das características da rede, a acessibilidade dos usuários de transporte público apresenta particularidades que a diferenciam da acessibilidade dos usuários de modos individuais, pois a impedância relacionada aos deslocamentos não se refere apenas aos tempos médios gastos dentro dos veículos, é necessário ainda contabilizar o tempo gasto nos deslocamentos de acesso ao sistema, o tempo gasto na espera dos veículos, bem como os tempos despendidos nos transbordos, quando necessários.

Já no caso da distribuição espacial das atividades, é necessário considerar que a concentração de empregos e vagas escolares são as variáveis que melhor representam a atratividade das regiões de destinos das viagens dos usuários de transporte público, haja vista o motivo das mesmas estar relacionado predominantemente às funções de trabalho e estudo. Desta forma, na análise da acessibilidade destes usuários, os índices mais adequados são aqueles que consideram a atratividade das regiões de destino das viagens, as quais geralmente são refletidas pela concentração de emprego e de matrículas ofertadas.

Hansen (1959), *apud* Raia Júnior (2000), propôs um índice para medir macroacessibilidade que se baseia no conceito de atratividade, o qual foi posteriormente desenvolvido por Davidson (1977), e que reflete o padrão de uso do solo através de uma medida de atratividade, bem como a qualidade de um sistema de transporte medida através da função custo de viagem, com a seguinte formulação:

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

onde:  $A_i$ : é a acessibilidade na zona  $i$ ;

$S_j$ : é a medida da atratividade na zona  $j$ ;

$c_{ij}$ : é a 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, sendo denominado de índices gravitacionais. Uma aplicação deste tipo de indicador na avaliação do desempenho dos sistemas de transporte coletivo e por automóvel na cidade de Matão, São Paulo, foi desenvolvida por Sanches (1996), que considerou como medida de atratividade das zonas o número de empregos ofertados. Segundo a autora, esse tipo de indicador é o mais adequado para a avaliação dos sistemas de transportes nas cidades, por incorporarem tanto aspectos relacionados com o sistema de transportes, quanto aspectos da distribuição de atividades no espaço, permitindo analisar a adequação da estrutura do sistema à distribuição espacial de usos do solo, em termos de acessibilidade fornecida aos usuários.

Uma outra proposta de índice foi desenvolvida por Horner e Mefford (2005), a qual considera a acessibilidade como uma medida acumulativa de oportunidades, ou seja, a acessibilidade é medida pela contabilização de oportunidades disponíveis, por exemplo, empregos, que se encontram dentro de um tempo de viagem predeterminado, através da seguinte formulação:

$$A_i^S = \sum_j E_j \quad \forall j \in c_{ij} \leq S \quad (2)$$

onde:  $S$ : é o custo ou tempo de viagem predeterminado; e

$E_j$ : número de empregos disponíveis na zona  $j$ .

Segundo os autores, essa medida fornece dois contrastes interessantes aos modelos gravitacionais. Primeiro ela pode ser considerada uma medida descontínua, por não considerar no seu cálculo os custos dos destinos que se encontram fora dos limites predeterminados, o que não ocorre nos modelos gravitacionais. Segundo, esses índices são mais facilmente interpretáveis do que os índices gravitacionais, por retornarem apenas o valor total do número de empregos, e não um misto de custo e emprego.

Uma extensão das medidas acumulativas de oportunidades é a introdução de uma variável de controle representativa do número de trabalhadores residentes em cada zona, como indicado na Equação 3. A inclusão dessa variável produz uma medida que captura mais precisamente a acessibilidade aos empregos, controlando os efeitos da população da zona de origem.

$$A_i^S = \sum_j E_j / R_i \quad \forall j \in c_{ij} \leq S \quad (3)$$

onde:  $R_i$ : é o número de trabalhadores residentes na zona  $i$ .

De forma a comparar a acessibilidade para cada grupo de trabalhadores, em uma dada área de estudo, Horner e Mefford (2005) propuseram ainda o cálculo de uma acessibilidade média ponderada ( $\omega$ ), que representa a média de empregos disponíveis a um determinado grupo de trabalhadores. Esse índice pode ser interpretado como o número total de empregos acessíveis a um dado grupo de trabalhadores, e sua interpretação permite identificar quaisquer grandes disparidades na macroacessibilidade produzida pelo sistema de transporte público com um todo.

$$\omega = \sum_i A_i^S R_i / \sum_i R_i \quad (4)$$

### 3. METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL DA ACESSIBILIDADE

A metodologia empregada neste trabalho considera a análise da acessibilidade dos usuários do SIT-FOR sob dois enfoques: um que analisa a acessibilidade de forma microscópica, avaliando o acesso que os usuários têm ao sistema (microacessibilidade), e outro mais amplo que considera a acessibilidade como o nível de facilidade ou dificuldade com que os usuários se deslocam entre duas regiões (macroacessibilidade). Estes dois enfoques de acessibilidade são analisados considerando-se seu aspecto espacial, ou seja, é avaliada a variação espacial tanto da microacessibilidade, como da macroacessibilidade dos usuários, de forma a se ter uma compreensão do comportamento espacial de ambos os fenômenos na cidade de Fortaleza.

Nesta avaliação é utilizado o ferramental de análise espacial, incluindo as novas técnicas descritivas e inferenciais da Estatística Espacial, que associado a uma plataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG) se apresenta com um enorme potencial de aplicação na caracterização e diagnóstico dos fenômenos urbanos e regionais relacionados ao sistema de transportes (Henrique, 2004). Conforme proposto por Anselin (1992), as ferramentas de análise espacial podem ser classificadas como de seleção, manipulação, análise exploratória e análise confirmatória. Neste trabalho, os dois primeiros grupos são utilizados na análise da microacessibilidade dos usuários do SIT-FOR, enquanto as ferramentas de análise exploratória são aplicadas na caracterização da sua macroacessibilidade.

De forma a tornar possível a aplicação destas ferramentas, foi montada no *software* TransCAD (Caliper, 2001) uma base de dados georeferenciados, contendo camadas geográficas representativas das linhas do SIT-FOR, das paradas de ônibus e dos terminais, além de uma camada em formato de áreas, representativas das zonas de tráfego da cidade, e outra contemplando os centróides dessas zonas. Essas camadas, além de permitirem a aplicação das ferramentas de análise espacial, possibilitaram a montagem de uma rede de transporte que deu suporte à realização de uma alocação do tipo tudo ou nada, escolhida devido aos baixos níveis de congestionamento na rede do SIT-FOR, visto que a maioria de suas linhas não sofre com problemas de lotação e, portanto, não restringem o embarque/desembarque dos seus passageiros. Já o congestionamento nos terminais foi tratado por meio de penalidades médias, estimadas a partir de um modelo de teoria das filas.

Na primeira etapa desta análise, que se refere à microacessibilidade dos usuários do SIT-FOR, são avaliadas a acessibilidade locacional desses usuários, através da cobertura do sistema e da distância média de caminhada que os mesmos efetuam para acessar as linhas em cada uma das zonas da cidade. Em seguida, é analisada a acessibilidade temporal, por meio do tempo médio de espera dos usuários no acesso ao sistema, sendo também analisadas as áreas de sobreposição dos terminais com relação à microacessibilidade ofertada.

Para obtenção e análise da área de cobertura do sistema, assim como das áreas de influência dos terminais, são utilizadas as ferramentas SIG de seleção e manipulação de dados, especificamente as de sobreposição (*overlay*) e de proximidade espacial (*buffers*). Já no caso da distância média de caminhada e do tempo médio de espera, resultantes da alocação das viagens na rede de simulação do SIT-FOR, as análises são realizadas através da visualização de mapas temáticos representando a distribuição espacial dessas variáveis.

Na segunda etapa desta análise é avaliada a macroacessibilidade dos usuários do SIT-FOR com relação às principais zonas de emprego da cidade. Para tanto, são aplicadas ferramentas de análise exploratória em áreas, com auxílio do *software* SPRING (INPE, 2003), buscando detectar existência de padrões espaciais, de áreas críticas, de tendências de crescimento e de dependência espacial, através da avaliação de mapas de média móvel e mapas de indicadores

de associação espacial do tipo *Box, Lisa* e *Moran*. É analisado o comportamento espacial de um índice do tipo gravitacional, definido segundo a Equação 5, pois, diferentemente das medidas acumulativas de oportunidades que fornecem a acessibilidade de determinados grupos de usuários, o índice adotado permite a análise da acessibilidade de todo o conjunto de usuários do sistema, a qual se constitui no objetivo desse trabalho.

$$\bar{T}_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N T_{ij} E_j / \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N E_j \quad (5)$$

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

Esta medida de macroacessibilidade é função de uma impedância, no caso o tempo médio de deslocamento na rede, e de uma medida de atividade das zonas de destino, representada pela quantidade de empregos ofertados. A escolha da variável emprego como medida de atividade das zonas se deve ao fato da maior parte das viagens da hora pico manhã em Fortaleza ser realizada pelo motivo trabalho, estando seus destinos concentrados justamente nas zonas de maior oferta de empregos da cidade. Com relação ao tempo de viagem utilizado nesta análise, cujos valores também são provenientes da alocação tudo-ou-nada, seu valor final engloba as parcelas de tempo referentes às caminhadas de acesso e difusão, à espera no ponto de parada, ao deslocamento dentro do veículo, além dos transbordos nos terminais. 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.

#### 4. ANÁLISE ESPACIAL DA ACESSIBILIDADE DOS USUÁRIOS DO SIT-FOR

Os principais resultados encontrados a partir da aplicação da metodologia proposta são apresentados nos tópicos seguintes. Em um primeiro momento são apresentados os resultados da análise da microacessibilidade dos usuários do SIT-FOR, englobando a análise das acessibilidades locacional e temporal, e da microacessibilidade das áreas de sobreposição de terminais. Em seguida, são apresentados os resultados da análise da macroacessibilidade desses usuários às principais zonas de emprego de Fortaleza.

##### 4.1. Acessibilidade Locacional

Na análise da acessibilidade locacional dos usuários do SIT-FOR, o primeiro parâmetro avaliado refere-se à cobertura da rede, considerando-se duas distâncias médias de caminhada para acesso às linhas do sistema (250 e 500m). Embora o indicador mais adequado para este tipo de análise fosse a distância percorrida até os pontos de parada de ônibus, infelizmente não se dispõe de uma base confiável de pontos de parada para todo o município de Fortaleza.

Avaliando-se a área de cobertura do SIT-FOR, constata-se que, no caso da distância média de caminhada de 250m, o percentual de área coberta equivale a 69% da área total de Fortaleza, correspondendo a um percentual de 81% da população. Já no caso da distância de 500m, o percentual de área coberta equivale a 90%, atendendo a 94% da população. Esses números indicam uma boa cobertura do sistema em termos locais, sugerindo que quase a totalidade da população necessita efetuar deslocamentos de no máximo 500m para acessar a rede de transporte coletivo.

No entanto, como se pode observar na Figura 1a, algumas regiões da cidade, principalmente as situadas na sua periferia, não são bem cobertas pela rede, o que pode levar os usuários residentes nestas áreas a efetuarem deslocamentos muitas vezes superiores a 500m. Desta

forma, a análise em cima apenas da área de cobertura do sistema não é suficiente para avaliar espacialmente a acessibilidade locacional dos usuários, sendo necessário também que sejam analisadas as distâncias médias de caminhadas em cada zona, de modo que se possa avaliar mais detalhadamente a acessibilidade locacional dos usuários por toda a cidade. Essas distâncias estão apresentadas no mapa da Figura 1b, sendo possível verificar:



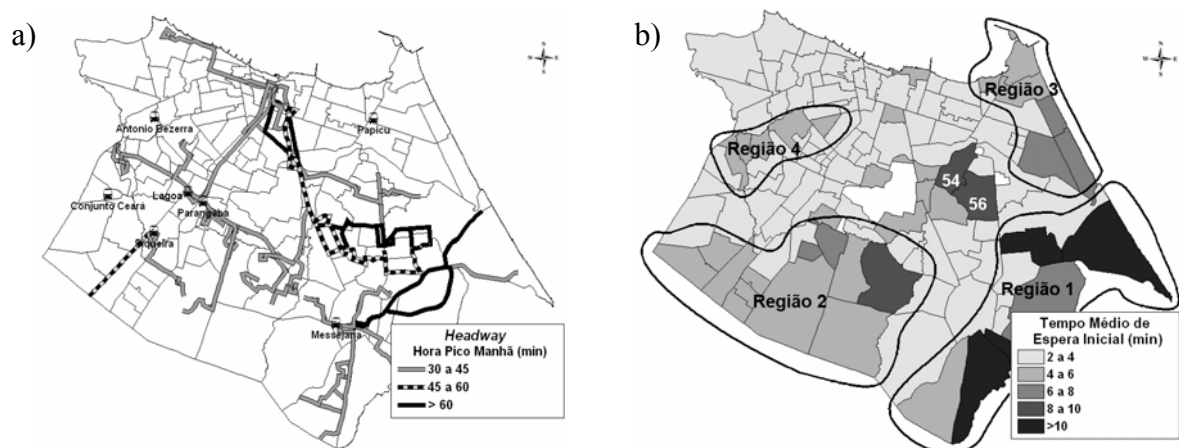
**Figura 1:** Área de cobertura do SIT-FOR e distância média de caminhada das viagens

- a existência de três grandes regiões (1, 2 e 3) de baixa acessibilidade locacional, localizadas na área periférica da cidade, justamente onde a cobertura do sistema é falha ou inexistente; e
- a existência de zonas (48, 119 e 120) que se enquadram numa situação inversa das regiões destacadas, apresentando curtas distâncias de caminhadas (menores que 300m), mas com uma cobertura do sistema bastante ineficiente. Estas zonas, apesar de apresentarem um número significativo de usuários e uma deficiente cobertura do sistema, tem uma boa acessibilidade locacional devido ao fato dos usuários se concentrarem em conjuntos habitacionais que são servidos por um número significativo de linhas alimentadoras e convencionais.

#### 4.2. Acessibilidade Temporal

Na análise da acessibilidade temporal, inicialmente foi avaliada a configuração espacial das linhas do sistema, considerando-se os intervalos de atendimento ou *headways* das mesmas. Especificamente, foram avaliadas apenas as linhas cujos *headways* estivessem acima de 30 min, apresentadas na Figura 2a, sendo possível constatar que as áreas da cidade que são mais prejudicadas pela oferta de linhas com *headways* elevados são as periferias da região sudeste e sudoeste, bem como parte da região oeste da cidade, que corresponde às áreas de influência de alguns terminais como os de Messejana, Siqueira, Parangaba e Lagoa.

No entanto, assim como destacado na análise da acessibilidade locacional, a avaliação dos parâmetros relacionados à microacessibilidade dos usuários por meio apenas da análise agregada da rede não é suficiente para que se possa compreender completamente o comportamento dessa variável, sendo necessária também a avaliação dos tempos médios de espera para acesso ao sistema em cada zona da cidade. Neste caso os tempos de espera analisados correspondem à metade do *headway* das linhas utilizadas, com seus valores sendo estimados com base na rede de simulação. A distribuição espacial desses tempos, apresentada na Figura 2b, indica a formação de quatro regiões de baixa acessibilidade temporal localizadas na periferia da cidade:



**Figura 2:** Distribuição Espacial das Linhas com *headways* superiores a 30 min e Tempo Médio de Espera Inicial das Viagens

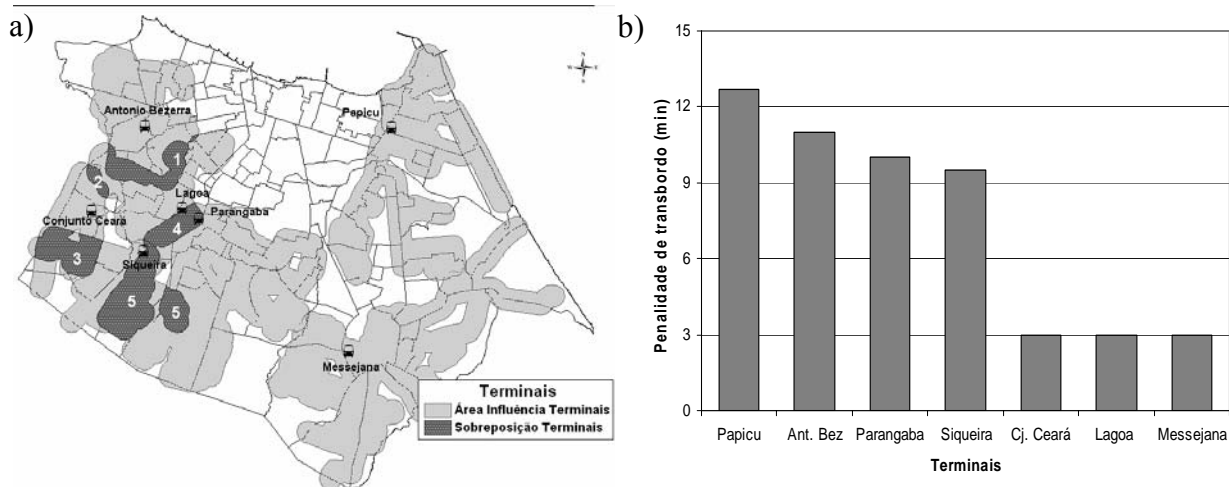
- Regiões 1 e 2, cujos tempos de espera são elevados, caracterizadas pelo atendimento de linhas alimentadoras com *headways* que chegam até a 70 minutos, fazendo com que a acessibilidade temporal das mesmas seja comprometida;
- Regiões 3 e 4, localizadas na área de influência dos Terminais Papicu e Antônio Bezerra, que, apesar de serem atendidas por linhas com *headways* inferior a 30 min, apresentam tempos de espera acentuados, pois as linhas alimentadoras que as atendem apresentam *headways* superiores a 20 min, o que pode resultar em tempos de espera acima de 10 min;
- Além de duas zonas (54 e 56) que estão sob influência do Terminal Papicu e que também apresentam acessibilidade temporal reduzida, devido não só aos *headways* das linhas alimentadoras desse terminal, mas principalmente devido ao atendimento feito por algumas linhas convencionais, complementares e circulares que apresentam *headways* sempre acima de 15 min.

#### 4.3. Microacessibilidade das Áreas de Sobreposição dos Terminais

Complementando a análise da microacessibilidade dos usuários do SIT-FOR, e seguindo o conceito de cobertura do sistema, foram ainda analisadas as regiões de sobreposição das áreas de influência dos terminais do sistema, apresentadas na Figura 3a. A princípio, essas áreas se caracterizariam pela duplicidade na oferta de serviços, o que teoricamente elevaria a acessibilidade de seus usuários. No entanto, ao se analisar a microacessibilidade destes usuários, verifica-se que tanto as distâncias de caminhada, como o tempo médio de espera nestas áreas, são de uma forma geral bastante elevados, coincidindo na maioria dos casos com as regiões de baixa acessibilidade locacional e temporal, com exceção das seguintes áreas:

- sobreposição dos Terminais Lagoa e Conjunto Ceará (Região 2), onde a microacessibilidade ofertada é a mais elevada de todas. Esta área não coincide com nenhuma das regiões de baixa acessibilidade locacional e temporal, apresentando distâncias de caminhadas e tempos de espera reduzidos, devido à grande oferta de linhas com *headways* baixos. Além disso, esta área de sobreposição também é beneficiada pelos reduzidos tempos de transbordo do Terminal Conjunto Ceará, como indicado na Figura 3b, no qual a maioria de seus transbordos é realizada;
- sobreposição dos Terminais Parangaba e Lagoa (Região 4), cujos itinerários das linhas alimentadoras não apresentam grande coincidência, confirmando o papel originalmente planejado para os mesmos que é de complementação, e permitindo uma oferta mais

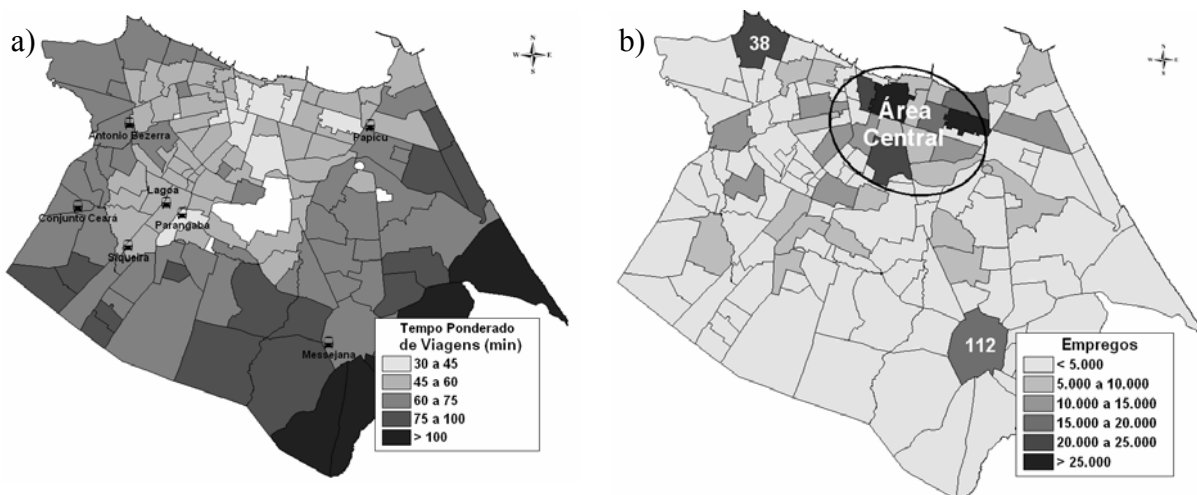
racional dos serviços. Nesta área, as distâncias de caminhadas são de no máximo 300m e os tempos de espera não ultrapassam 4 min, o que indica uma microacessibilidade melhor destes usuários que não são tão penalizados quanto os usuários das demais áreas.



**Figura 3:** Áreas de sobreposição e tempos médios de transbordo dos terminais

#### 4.4. Macroacessibilidade dos Usuários às Principais Regiões de Emprego

Na análise da acessibilidade dos usuários às principais zonas de emprego, avaliou-se inicialmente a distribuição espacial dos tempos de viagem apresentados na Figura 4a. Analisando-se o comportamento dessa variável, é possível verificar a grande influência não só da rede, mas também da concentração de empregos na acessibilidade dos usuários do SIT-FOR. Os resultados deste mapa indicam uma redução nos tempos de viagem à medida que as zonas se aproximam da área central da cidade, sendo possível também verificar que as zonas cujos tempos de viagens são mais elevados coincidem com aquelas cuja cobertura do sistema é deficiente (Figura 1a), assim como apresentam condições inferiores no que se refere à acessibilidade locacional e temporal dos usuários, destacadas nas Figuras 1b e 2b.

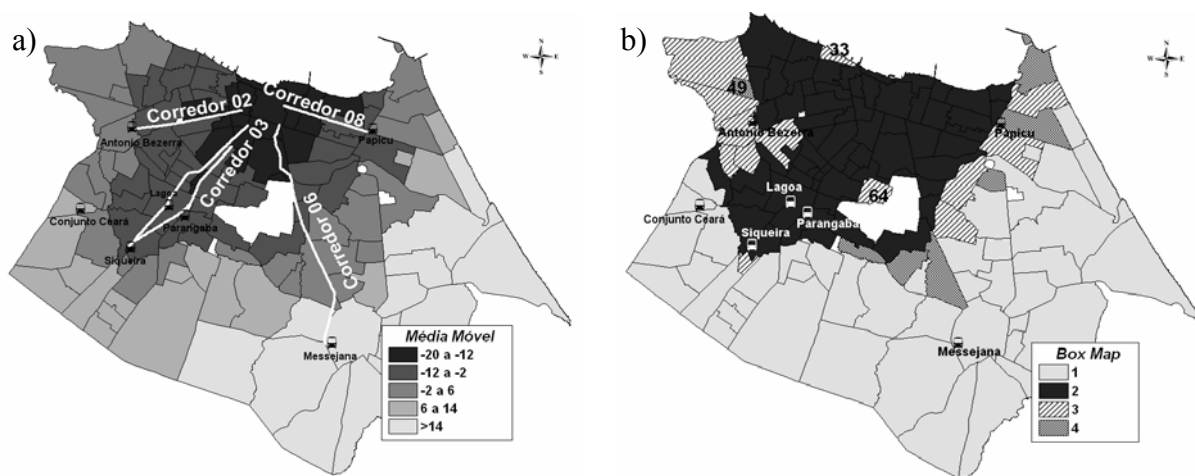


**Figura 4:** Distribuição espacial dos tempos médios ponderados de viagem dos usuários do SIT-FOR e do número de empregos ofertados em Fortaleza

Além disso, ao se comparar a configuração espacial da distribuição dos tempos de viagem com a de concentração de empregos apresentada na Figura 4b, é possível observar que as zonas que apresentam os maiores números de empregos ofertados, localizadas na área central

da cidade, são aquelas cujos tempos de viagens são os menores. Como exceção, tem-se as zonas 38 e 122 que, apesar de se apresentarem como pólos regionais de atração de viagens, com um número significativo de empregos ofertados, possuem tempos de viagens elevados devido ao fato da maioria de seus residentes trabalharem na área central da cidade, o que exige a realização de transbordos em boa parte das suas viagens por motivo trabalho.

No entanto, apenas a visualização da distribuição espacial desses tempos não é suficiente para que se possa compreender o comportamento espacial da macroacessibilidade, sendo para isto analisado também o mapa das médias móveis, apresentado na Figura 5a. Este mapa indica uma tendência de diminuição da acessibilidade em direção à periferia da cidade, com todas as zonas localizadas a montante dos terminais apresentando baixa acessibilidade, sendo possível ainda perceber uma tendência de redução nos tempos médios de viagem nas zonas que margeiam os Corredores 2, 3, 6 e 8.



**Figura 5:** Média Móvel e *Box Map* dos tempos médios ponderados de viagem

Essa melhoria dos tempos de viagem das zonas próximas aos corredores demonstra a grande influência da configuração da rede na acessibilidade dos usuários do SIT-FOR. Estas zonas são beneficiadas pela grande oferta de linhas que fazem a ligação direta bairro-centro, o que resulta em uma acessibilidade temporal elevada, devido à maior frequência de linhas que permitem a ligação desses bairros com os pólos de emprego. Além disso, essas zonas são favorecidas pela boa cobertura do sistema, o que implica em distâncias de caminhada reduzidas, quando comparadas à média do sistema.

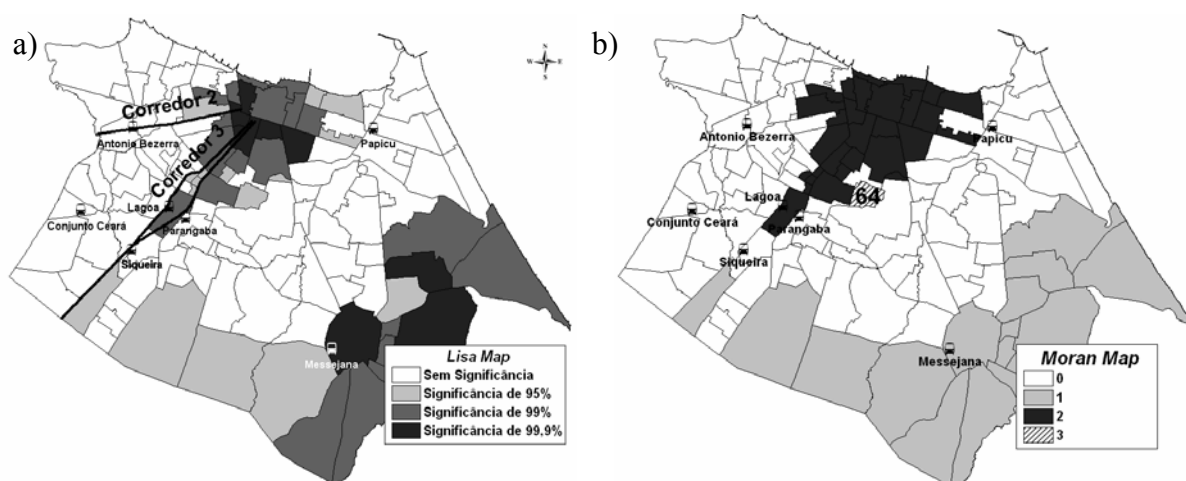
Além das regiões de tendência espacial, é interessante também identificar, por meio do *Box Map* da Figura 5b, os regimes de associação espacial das zonas com relação à sua acessibilidade, de forma a se compreender a variabilidade espacial desse fenômeno. Sendo assim, analisando-se as informações contidas nesse mapa, pode-se constatar:

- a concentração de zonas com elevados tempos de viagem (baixa acessibilidade – classe 1) na periferia da cidade, locais de atuação principalmente das linhas alimentadoras do sistema, que geralmente apresentam baixas frequências e que contribuem para o aumento dos tempos de viagem;
- a concentração de zonas que apresentam tempos de viagem reduzidos (alta acessibilidade – classe 2), somente nas regiões localizadas a jusante dos terminais de integração. Essas regiões são favorecidas com relação aos tempos de viagens devido ao fato de seus usuários não necessitarem realizar transbordos nas viagens com destino às regiões de concentração de empregos.

Com relação às zonas de comportamento atípico (classes 3 e 4 do *Box Map*), cujos tempos de viagens são diferentes dos tempos das suas zonas vizinhas, é possível perceber:

- a formação de uma área de transição ao longo de todo o limite da região de concentração das zonas de tempos de viagem reduzidos no lado leste da cidade. Estas zonas apresentam valores de tempos de viagem próximos ao valor médio e configuram-se como de comportamento atípico, sendo consideradas de maior (classe 3) ou menor (classe 4) acessibilidade apenas quando comparadas com as zonas que as circundam;
- uma concentração de zonas que pertencem a classe 3 na região noroeste da cidade, cujos tempos de viagem são elevados enquanto os dos seus vizinhos são baixos. Estas zonas localizam-se na área de influência do Terminal Antônio Bezerra, cujo tempo médio de transbordo é o terceiro maior dentre os demais terminais, o que influencia diretamente no tempo de viagem dos seus usuários, reduzindo a sua acessibilidade;
- a existência de três zonas de comportamento atípico, sendo duas (zonas 33 e 64) caracterizadas como zonas de elevados tempos de viagens inseridas em regiões de baixos tempos (classe 3), e uma (zona 49) que se caracteriza como de baixo tempo de viagem inserida em uma região de elevados tempos de viagem (classe 4).

Caracterizada a variabilidade espacial da macroacessibilidade dos usuários do SIT-FOR, procurou-se então identificar o nível de dependência espacial global dessa variável, sendo para isto calculado o Índice Global de Moran, com a utilização do *software* SPRING (INPE, 2003), o qual apontou um valor de 0,64. Este valor relativamente alto indica que a acessibilidade dos usuários de transporte coletivo em Fortaleza é um evento geograficamente dependente, sendo bastante influenciada por características espaciais das zonas de análise, principalmente pela configuração da rede do SIT-FOR, em especial pela localização dos terminais, e pela concentração de empregos ofertados.



**Figura 6:** *Lisa Map* e *Moran Map* dos tempos médios ponderados de viagem

Comprovada a existência de autocorrelação espacial da macroacessibilidade em Fortaleza, é necessário examinar o comportamento local dessa dependência, bem como a sua significância estatística. O mapa da Figura 6a indica que a maioria das zonas não apresenta uma dependência espacial significativa com relação à acessibilidade e que as zonas que possuem o Índice Local de Moran com significância de 95%, 99% e 99,9%, localizam-se tanto na região periférica ao sul e sudeste da cidade, como na região que corresponde à área central, com expansão em direção aos Corredores 2 e 3. Acredita-se que estas zonas apresentam uma maior

significância devido tanto à configuração da rede nestas regiões, como também à sua posição com relação às zonas de emprego da cidade.

Avaliada a significância da dependência espacial local da acessibilidade, é possível caracterizar mais precisamente o comportamento espacial desta variável por meio da análise do *Moran Map* da Figura 6b, que associa os resultados do *Box Map* com os do *Lisa Map*, cujas principais constatações são:

- a existência de uma região de baixa acessibilidade (classe 1 - com significância estatística e associação espacial positiva dos tempos de viagem), localizada na periferia sul e sudeste da cidade, caracterizada por elevados tempos de viagem e pela oferta precária dos serviços de ônibus, que são ocasionados devido tanto à grande distância que a separa dos principais pólos de emprego da cidade, como pelas falhas na cobertura do sistema, longas caminhadas de acesso à rede e elevados tempos de espera inicial;
- a existência de uma região de elevada acessibilidade (classe 2 - com significância estatística e associação espacial negativa dos tempos de viagem), que corresponde ao aglomerado de zonas pertencentes à área central, além de mais algumas zonas concentradas ao longo dos Corredores 2 e 3, cujos reduzidos tempos de viagem são ocasionados pela maior proximidade dessas zonas em relação aos pólos de empregos, assim como pela melhor oferta de serviços representada por curtas distâncias de caminhada e menores tempos de espera;
- o comportamento atípico da zona 64 (classe 3 - com significância estatística e associação espacial positiva) que se apresenta como de baixa acessibilidade inserida em uma região de elevada acessibilidade, fenômeno já detectado na análise do *Box Map* da Figura 5b.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados neste trabalho permitiram caracterizar de forma eficaz o comportamento da acessibilidade dos usuários do transporte coletivo por toda a área da cidade de Fortaleza. As ferramentas de análise espacial, em especial as de seleção, manipulação e análise exploratória em áreas, permitiram a realização de análises de área de influência, de identificação de regiões de comportamento homogêneo, das tendências espaciais de crescimento e das regiões atípicas, possibilitando a formulação de diagnósticos mais completos da acessibilidade como indicador da qualidade do serviço ofertado no SIT-FOR.

No que se refere à microacessibilidade dos usuários do SIT-FOR, os resultados indicaram que a mesma é bastante influenciada pelas características da rede do sistema. No caso da acessibilidade locacional, a configuração espacial é fator determinante para o acesso dos usuários ao sistema, sendo os usuários de algumas regiões da cidade forçados a realizar caminhadas longas, acima de 500m. Além disso, há regiões da cidade onde a cobertura do sistema é inexistente, o que dificulta sobremaneira o acesso de parte da população ao serviço de transporte público por ônibus, influenciando diretamente na sua mobilidade. Já no que se refere à acessibilidade temporal, a frequência das linhas também influencia de forma direta a acessibilidade dos usuários, principalmente daqueles residentes nas áreas periféricas, os quais são atendidos pelas linhas alimentadoras dos terminais cujos *headways* são os maiores do sistema, incorrendo em tempos de espera bastante elevados.

Com relação especificamente às áreas de sobreposição dos terminais do SIT-FOR, estas se configuram como regiões onde, apesar da existência de uma possível super oferta de serviços, a microacessibilidade dos usuários é deficiente. Na verdade, o fato de alguns itinerários das linhas alimentadoras dos terminais apresentarem uma grande proximidade espacial, não

implica necessariamente em uma boa acessibilidade das zonas onde as mesmas se localizam. Muitas vezes, os itinerários dessas linhas não atendem aos principais aglomerados populacionais das zonas, obrigando seus usuários a efetuarem caminhadas longas, sem falar do tempo de espera acentuado, devido ao fato destas áreas serem servidas principalmente por linhas alimentadoras cujos *headways* são sempre elevados.

Por fim, as análises dos tempos médios ponderados de viagem demonstraram também a grande influência da configuração da rede sobre a acessibilidade dos usuários às zonas de emprego, estando as zonas de menor acessibilidade localizadas a montante dos terminais de integração, as quais apresentam os maiores tempos de viagem devido à necessidade de transbordo nos deslocamentos que se destinam às regiões de emprego. Já as zonas de maior acessibilidade concentram-se na área central, bem como às margens dos Corredores 2 e 3, as quais coincidem com as regiões onde os tempos de acesso ao sistema são menores devido a grande oferta de linhas e onde a cobertura do sistema é mais eficiente. Além disso, percebe-se que as zonas consideradas de transição no *Box Map* (Figura 5b), principalmente aquelas próximas aos Terminais Antônio Bezerra e Papicu, teriam sua acessibilidade melhorada significativamente, caso a localização desses terminais fosse modificada ou, simplesmente, fossem reduzidos seus tempos de transbordo.

#### Agradecimentos

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

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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 California – California, USA.
- Boareto, R. (2003) Mobilidade urbana sustentável. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*, n. 100, p. 45-56.
- Caliper (2001) *TransCAD - Transportation Workstation Software, User's Guide, Version 4.0 for Windows*. Caliper Corporation, Newton, USA.
- Davidson, K. B. (1977) Accessibility in Transport/Land-use Modelling and Assessment. *Environment and Planning A*, v. 9, p. 1401-1416.
- Ferraz, A. C. P. e I. G. E. Torres (2001) *Transporte Público Urbano*, Ed. Rima, São Carlos, SP.
- Hansen, W. G. (1959) How Accessibility shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners* 25 (2) 73-76.
- Henrique, C. S. (2004) *Diagnóstico Espacial da Mobilidade e da Acessibilidade dos Usuários do Sistema Integrado de Transporte de Fortaleza*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.
- Henrique, C. S.; C. F. G. Loureiro e R. A. Cavalcante (2004) Caracterização Espacial da Mobilidade dos Usuários Cativos do Sistema Integrado de Transportes de Fortaleza. *Anais do XVIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Florianópolis, p. 784-795
- Horner, M. W. e J. N. Mefford, (2005) GIS-based strategies for measuring worker accessibility to job opportunities. *Transportation Research Board, 84th Annual Meeting*, Washington, D.C., USA.
- 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.
- Ortuzar, J. de D. e L. G. Willumsen (1994) *Modelling Transport*. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Raia Júnior, A.A. (2000) *Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice Potencial de Viagens utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informações Geográficas*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Sanches, S. da P. (1996) Acessibilidade: Um Indicador de Desempenho dos Sistemas de Transporte nas Cidades. *Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Brasília, p. 199-208