

ÍNDICE DE ACESSIBILIDADE POR TRANSPORTE COLETIVO

Luciana Guadalupe Ferronato

Fernando Dutra Michel

Empresa Pública de Transporte e Circulação – EPTC

RESUMO

O artigo propõe uma medida agregada de acessibilidade por transporte coletivo. Adota-se o termo no sentido de facilidade de acesso a diferentes destinos, a partir de uma dada origem. A composição do índice de acessibilidade por transporte coletivo parte de uma base teórica para selecionar indicadores representativos dos fatores de acessibilidade. A metodologia proposta utiliza uma base georreferenciada para agregação dos dados em zonas de tráfego. É apresentada uma aplicação do método proposto ao caso de Porto Alegre.

ABSTRACT

The aim of this work is to develop an aggregate accessibility index for public transport. The index is based on the degree of resilience to access different destinations, given a specific origin. A theoretical basis is considered in order to select indicators that actually represent the accessibility factors influencing accessibility. The proposed methodology includes Geographic Information Systems to aggregate the data into traffic zones. A practical exercise is conducted using data from Porto Alegre, Brazil.

PALAVRAS-CHAVE

Acessibilidade, índice de acessibilidade, transporte coletivo.

1 INTRODUÇÃO

O termo acessibilidade resume conceitos diversos em diferentes áreas do conhecimento. Mesmo no campo de transportes, encontram-se dois focos distintos: por um lado, trata-se da acessibilidade física aos equipamentos de transportes, tais como paradas de ônibus, estações e veículos; e, por outro lado, entende-se como a facilidade de atingir um destino, a partir de uma origem. Empregamos a palavra acessibilidade, no presente artigo, com este último sentido.

Considerando a significativa participação do transporte coletivo na divisão modal das grandes cidades brasileiras, o atendimento adequado das necessidades de transporte da população urbana bastaria para justificar esforços no sentido de medir e avaliar as condições da oferta. No entanto, há ainda outras razões para que se desenvolvam ferramentas de apoio ao planejamento e à decisão nesse campo. Entre elas, a urgência de reverter parte dos usuários de automóvel ao uso de transporte coletivo, como forma de mitigar congestionamentos e poluição.

O objetivo deste trabalho foi estabelecer uma medida agregada de acessibilidade que permitisse a comparação entre regiões de uma cidade, assim como o acompanhamento da evolução de uma região. Como ferramenta de apoio à decisão, pode representar um maior respaldo e aceitação pública.

Este artigo propõe um índice agregado para medir a acessibilidade por transporte coletivo. A partir de uma base teórica, indicadores representativos de fatores de acessibilidade são selecionados para compor o índice. Propõe-se uma metodologia para agregação dos dados primários em dois níveis: primeiro, em paradas de ônibus; depois em zonas de tráfego. A aplicação do método ao caso de Porto Alegre é apresentada e, finalmente, o índice resultante, representando os níveis de oferta de transporte coletivo, é comparado aos níveis de demanda encontrados nas zonas de tráfego.

2 ACESSIBILIDADE: DEFINIÇÃO E QUANTIFICAÇÃO

Segundo Litman (2007), acessibilidade é a capacidade para alcançar atividades, serviços, mercadorias ou quaisquer destinos desejados. No campo da sociologia, trata-se da capacidade de utilizar serviços e oportunidades, enquanto no projeto de equipamentos urbanos entende-se acessibilidade como o desenho que permite acesso a pessoas com deficiências de locomoção. As várias especialidades apresentam focos diferenciados na abordagem desse tema e, em planejamento de transportes, acessibilidade relaciona-se geralmente com o acesso físico aos objetivos individuais.

Na definição do BTS (1997), enquanto a mobilidade mede quanto as pessoas viajam, a acessibilidade indica quão facilmente as pessoas podem chegar ao seu destino. Essa facilidade pode ser representada por um baixo custo generalizado de deslocamento, somando o dispêndio de tempo, dinheiro, esforço, risco, etc. Entre os fatores a considerar, destacam-se: 1) a mobilidade proporcionada pelos diversos modos de transporte; 2) a conectividade entre origens e destinos; 3) a distribuição das atividades no espaço, ou uso do solo; e 4) os substitutos da mobilidade, tais como telecomunicações e serviços de entregas (Litman, 2007).

2.1 Quantificação da acessibilidade

A necessidade de estabelecer uma medida quantitativa de acessibilidade decorre da ampla utilização do termo entre os objetivos de projetos de transportes. Para avaliar a eficácia de tais projetos, é indispensável a utilização de indicadores. Entretanto, como a acessibilidade é influenciada por diversos fatores, vários indicadores precisam ser acompanhados em sua avaliação. Uma medida agregada, cuja composição seja totalmente transparente e válida, permite a avaliação direta dos resultados eventualmente obtidos em relação ao objetivo. Além disso, uma medida simplificada tem grande utilidade na divulgação de informações e como apoio à discussão comunidades afetadas por projetos de transportes.

2.1.1 Como medir

Segundo MacLaren (1996), bons indicadores são cientificamente válidos, representativos de uma ampla faixa de condições, sensíveis a mudanças, relevantes para as necessidades dos potenciais usuários, comparáveis, com custos razoáveis de coleta e uso, atraentes para divulgação e não-ambíguos. Conhecidos os fatores que afetam a acessibilidade, podem ser estabelecidos indicadores representativos. Considerando que o presente estudo refere-se ao transporte coletivo, frequência e cobertura dos serviços disponíveis são indicadores adequados para medir acessibilidade.

De acordo com Saisana *et al* (2005a), a combinação de indicadores em um índice pode agregar maior quantidade de informação em uma medida única, mais fácil de interpretar embora seja mais sofisticada. Índices compostos podem ser usados para resumir questões complexas ou multidimensionais com o objetivo de dar suporte à decisão, oferecem uma visão geral, facilitam a tarefa de classificação, ajudam a atrair o interesse do público porque facilitam a comparação com outros sistemas e resumem a informação. Por outro lado, podem levar a conclusões simplistas se não forem usados em conjunto com os indicadores originais. A conveniência de utilizar-se índices agregados ao invés de indicadores isolados é discutida por Booyesen (2004), que destaca a necessidade de não se perder de vista os indicadores desagregados quando se utiliza um índice.

2.2 Índices de acessibilidade

Uma medida muito simples de acessibilidade ao transporte coletivo é a estratificação dos domicílios da área de estudo segundo sua distância da linha ou parada mais próxima (BTS, 1997). Conforme agregam mais informações, as medidas tornam-se mais sofisticadas mas não necessariamente mais difíceis de compreender. Ponderando relevância das informações e custo de obtenção dos dados, pode-se compor um índice de acessibilidade de fácil compreensão e baixo custo, principalmente se os indicadores componentes já têm dados disponíveis, analisados individualmente.

Bhat *et al* (2002) propõem um índice de acessibilidade urbana que mede a quantidade de oportunidades acessíveis a uma zona, dentro de uma determinada distância ou tempo de viagem. Dados relativos ao uso do solo e infra-estrutura de transportes são analisados em um sistema de informações geográficas (SIG).

Rood (1997) desenvolveu um índice de disponibilidade de transporte coletivo para a cidade de Sacramento, California. Os indicadores componentes do índice são construídos a partir da frequência e capacidade ofertadas e da população residente e empregos localizados em uma unidade de área. A metodologia empregada não requer recursos sofisticados, podendo ser implementada em planilhas eletrônicas comuns, com o uso opcional de SIG.

Grengs e Arbor (2003) desenvolveram um método que mede a acessibilidade por transporte coletivo, combinando a avaliação de padrões de uso do solo e serviços de transporte coletivo. O método inclui a formulação de um modelo gravitacional e o cálculo de um índice de acessibilidade.

Uma boa revisão sobre indicadores e índices para avaliação de serviços de transporte coletivo encontra-se em TCRP (2003). A publicação é um guia para desenvolvimento de sistemas de indicadores. Raia Jr. (2000), que propõe a análise conjunta de acessibilidade e mobilidade como forma de estimar potencial de viagens, também apresenta uma revisão de conceitos e medidas de acessibilidade.

2.3 Ferramentas utilizadas

Uma revisão sobre métodos de normalização e agregação de indicadores para formulação de índices compostos encontra-se em Saisana *et al* (2005b). No presente estudo foi utilizado o método de análise hierárquica (Saaty, 1991) para atribuição de pesos em diferentes etapas da agregação de indicadores.

A agregação de dados de transporte coletivo em unidades de área foi facilitada pelo uso de um sistema de informações geográficas (SIG). Sem o auxílio dessa ferramenta, a aplicação da metodologia torna-se demasiado trabalhosa.

3 ESTRUTURA DO ÍNDICE DE ACESSIBILIDADE POR TRANSPORTE COLETIVO

O índice reflete o nível de acessibilidade, ou facilidade de acesso, por transporte coletivo a diferentes destinos em uma área da zona urbana. Uma unidade de área para análise é definida e fatores que afetam a acessibilidade são agregados nessa unidade.

3.1 Unidades de análise

A unidade de área estabelecida para essa análise foi a zona de tráfego (ZT). Por ser amplamente utilizada em estudos de transportes, oferece facilidades no que se refere a disponibilidade de dados e termos de comparação com outros indicadores.

3.2 Fatores de acessibilidade

O acesso ao transporte coletivo pode ser facilitado, ou dificultado, por fatores espaciais, temporais e econômicos, ou sócio-econômicos. O índice proposto não abrange fatores sócio-econômicos, tais como tarifa, subsídios e características culturais que afetam a acessibilidade. Trata-se, exclusivamente, da acessibilidade espacial e temporal proporcionada pelo transporte coletivo.

A proporção de área de uma ZT atendida por paradas e a variedade de destinos alternativos oferecidos representam a acessibilidade espacial. A frequência diária do serviço ofertado na parada é utilizada como medida de acessibilidade temporal.

3.3 Formulação do Índice

A estrutura de indicadores que compõem o índice de acessibilidade proposto pode ser resumida da seguinte forma:

- Uma **Zona de Tráfego (ZT)** tem um nível de acessibilidade por transporte coletivo de acordo com:
 - O nível de acessibilidade oferecido pelas **Paradas** de ônibus que atendem essa zona, o qual é função da
 - **frequência** dos
 - **serviços** e
 - **destinos** ofertados

Uma ZT é atendida por todas as paradas localizadas no seu interior ou a uma distância de caminhada da referida zona (500 metros). O Índice de Acessibilidade da ZT (IA_{ZT}) é calculado em função da proporção de sua área atendida por paradas e do nível dessas paradas.

Cada parada de ônibus que atende a ZT oferece uma certa frequência diária de viagens de um ou mais serviços, dando acesso a diferentes destinos. O Nível das Paradas (NP) é calculado em função da frequência ofertada e do valor atribuído aos Serviços/Destinos (SD).

Serviços são alternativas com características diferenciadas tais como, por exemplo, Expresso e Parador. Destino representa a oferta de destinos alternativos na parada. Ideal seria uma medida do número de zonas acessíveis através de um determinado serviço. Entretanto, pode-se simplificar através de características das linhas, tais como alimentadoras (que dão acesso principalmente a um terminal de outras linhas), interbairros (que dão acesso a outros bairros), centro, etc. A importância, ou valor relativo, dos Destinos oferecidos e dos Serviços pode ser estimada através de análise hierárquica (Saaty, 1991), comparando-se as alternativas par a par. Esse método foi empregado na aplicação em Porto Alegre, resultando os valores da Tabela 1, os quais representam o consenso de 6 técnicos em planejamento de transportes.

Tabela 1 – Valor atribuído aos Serviços/Destinos (*SD*)

<i>SD</i>		
Destinos	Serviços	
	Parador	Direto
Alimentador	0,02	0,04
Interbairros	0,04	0,09
Retorno	0,04	0,09
Centro	0,11	0,23
Transversal	0,11	0,23

O nível de uma parada (*NP*) pode, então, ser calculado segundo a equação (1),

$$NP = \sum SD \times F \quad (1)$$

onde:

SD = é o valor do Serviço/Destino ofertado na parada

F = é a frequência diária do Serviço/Destino ofertado na parada

Os *NP* encontrados são normalizados, adequando-se a uma escala de 0 a 1, de acordo com a equação (2). Este procedimento relativiza os valores, facilitando a interpretação.

$$NP_{NORM} = \frac{NP - NP_{Mínimo}}{NP_{Máximo} - NP_{Mínimo}} \quad (2)$$

Agora, as paradas podem ser classificadas segundo seu nível *NP_{NORM}*, que varia de 0 a 1, sendo 1 o nível mais alto, com o melhor serviço. A classificação em 10 intervalos iguais permite a atribuição de valores a essas classes, em um procedimento simples de análise hierárquica (Saaty, 1991). A Tabela 2 traz a classificação com os respectivos valores, cuja soma é igual a 1.

Tabela 2 – Classes de paradas de ônibus

Classe (<i>N_p</i>)	<i>V_p</i>
0 a 0,1	0,0152
0,11 a 0,2	0,0203
0,21 a 0,3	0,0284
0,31 a 0,4	0,0401
0,41 a 0,5	0,0564
0,51 a 0,6	0,0788
0,61 a 0,7	0,1094
0,71 a 0,8	0,1515
0,81 a 0,9	0,2099
0,91 a 1	0,2900

Através de uma seleção das paradas de cada classe em um SIG, pode-se avaliar a área de cada ZT coberta por essa classe de paradas. Tem-se, assim, todas as condições para chegar ao Índice de Acessibilidade (*IA_{ZT}*), através da equação (3).

$$IA_{ZT} = \frac{A_{cob}}{A_{total}} \sum V_p \times A_{NP} \quad (3)$$

onde:

A_{cob} = área total da ZT coberta por quaisquer paradas (raio de 500m)

A_{total} = área total da ZT

V_p = valor atribuído a uma classe de paradas

A_{NP} = % de área da ZT coberta por paradas de uma classe

Finalmente, IA_{ZT} também deve ser normalizado, para maior facilidade de interpretação.

4 APLICAÇÃO

O índice proposto foi aplicado ao caso de Porto Alegre, abrangendo apenas a área do município e, portanto, o transporte coletivo por ônibus intra-urbano. A área de estudo é subdividida em 98 zonas de tráfego, como ilustra a Figura 1.

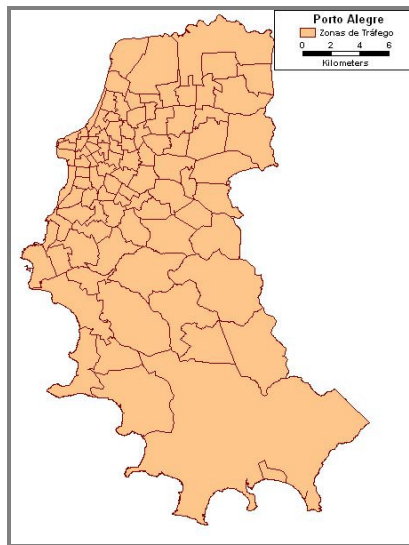


Figura 1 – Zonas de Tráfego, Porto Alegre

4.1 Acessibilidade das paradas de ônibus

O cadastro de paradas de ônibus é georreferenciado, permitindo o relacionamento dos dados da parada com itinerários e frequência de linhas de ônibus em um sistema de informação geográfica (SIG). O nível da parada (NP) foi calculado de acordo com a equação (1), multiplicando-se a soma das frequências pelo valor atribuído ao Serviço/Destino (SD) correspondente.

Para atribuição dos pesos, foram considerados 2 tipos de serviço (Parador e Direto) e 5 tipos de destinos (Alimentador, Retorno, Interbairros, Centro e Transversal). Foi aplicada análise hierárquica (Saaty, 1991) para atribuição dos valores, resumidos na Tabela 1. A subdivisão de serviços agrega um elemento de velocidade (que reflete no tempo de viagem) à avaliação de acessibilidade. Quanto aos destinos, linhas alimentadoras dão acesso a destinos pouco

atrativos; o centro da cidade oferece a maior quantidade de oportunidades e linhas transversais dão acesso a pólos de atração diferenciados que não se localizam no centro.

A Figura 2 ilustra a localização das paradas, classificadas em 10 intervalos segundo os níveis de acessibilidade encontrados. Essa classificação foi utilizada para atribuição dos pesos encontrados na Tabela 2, utilizados para cálculo do Índice de Acessibilidade através da equação (3).

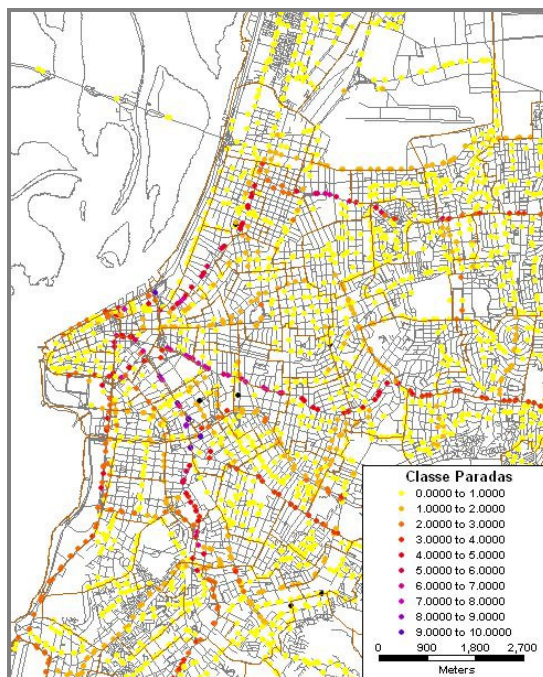


Figura 2 – Classes de Paradas de Ônibus

4.2 Acessibilidade das zonas de tráfego

De acordo com a formulação enunciada no item 3.3, o Índice de Acessibilidade da ZT é calculado a partir da equação (4). A área de cobertura das paradas foi estabelecida em um raio de 500 metros, distância máxima de caminhada admitida em Porto Alegre. A Figura 3 mostra o mapa de acessibilidade por zonas de tráfego, normalizado em uma escala de 0 a 1, de maneira semelhante à normalização dos níveis de acessibilidade das paradas, conforme equação (2). As áreas mais escuras têm maior acessibilidade.

De maneira geral, nota-se o aumento da acessibilidade a partir da periferia, em direção ao centro da cidade, o que é condizente com o desenho predominantemente radial das linhas de transporte coletivo. Uma exceção fica visível no mapa: algumas zonas contíguas com localização próxima ao centro e nível de acessibilidade igual ao da periferia. Trata-se de uma região de renda alta, cujas viagens são realizadas predominantemente por transporte individual. A oferta de transporte coletivo ajusta-se a essa demanda. Como representação dos níveis de oferta, o mapa foi avaliado positivamente por técnicos que atuam no planejamento de transporte coletivo.

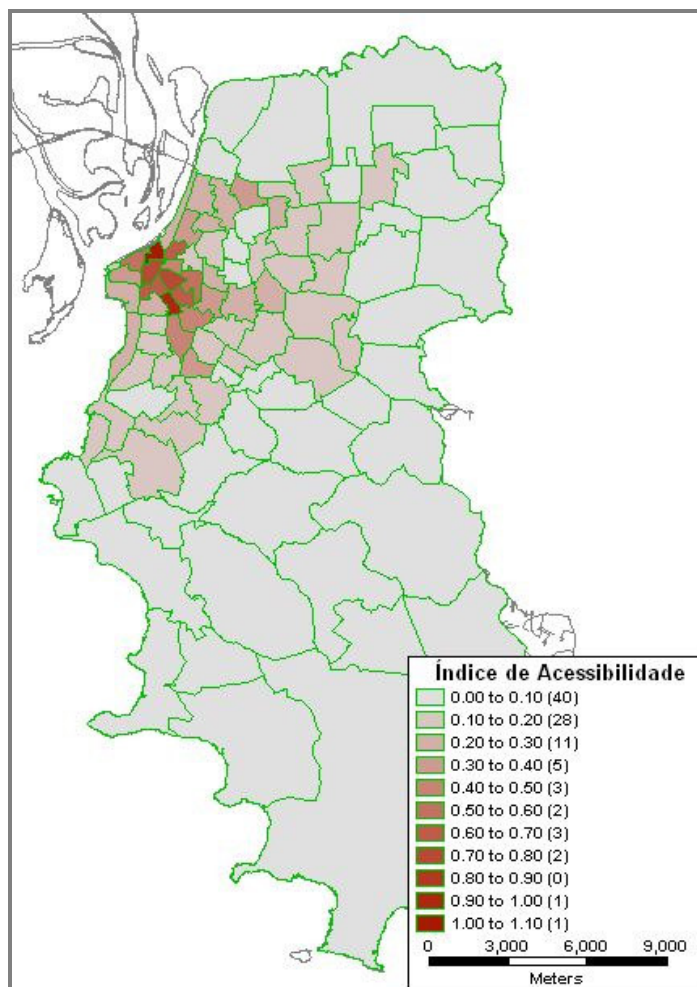


Figura 3 – Acessibilidade por Zona de Tráfego

4.3 Sensibilidade do índice

Um fator relevante na construção de um índice é sua sensibilidade à variação nos componentes. Como resultado da formulação proposta, quando uma zona tem 100% de sua área atendida por paradas de todos os níveis, seu índice de acessibilidade é igual a 1.

A variação do índice de acessibilidade em função da área coberta por diferentes classes de paradas é ilustrada pelas curvas da Figura 4. As classes de níveis mais baixos (até 5), que compõem a maioria das paradas de Porto Alegre, têm pequena influência no índice e, mesmo com 100% de cobertura em uma zona, não modificariam o mapa da Figura 3, com 10 classes de intervalos iguais. Entretanto, se fossem consideradas 20 classes no mapa de acessibilidade, 100% de cobertura de paradas de nível 4,1 a 5,0 representaria uma alteração já visível.

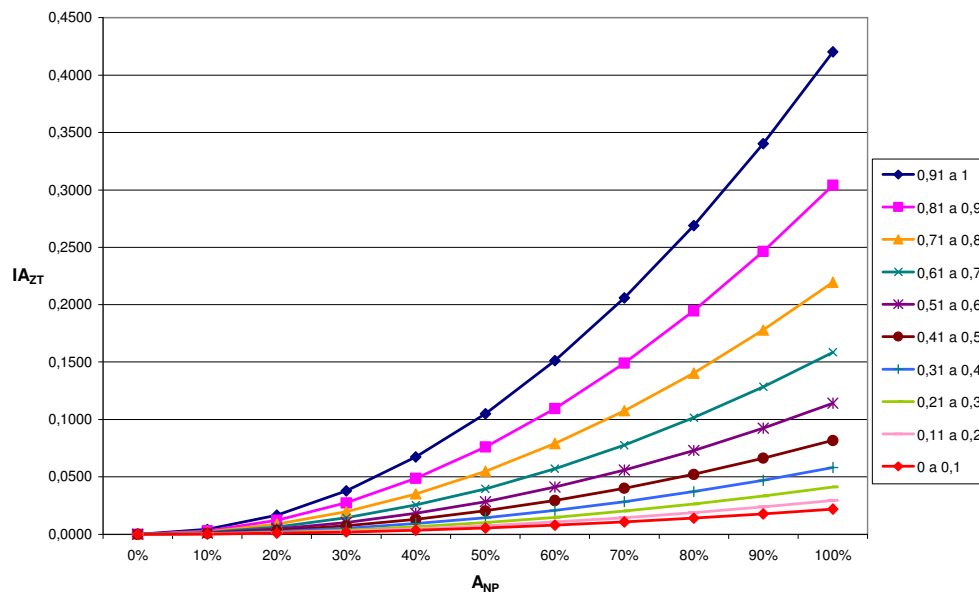


Figura 4 – Índice de Acessibilidade x cobertura de diferentes classes

A Figura 5 mostra a variação do nível das paradas segundo a oferta de diferentes Serviços/Destinos. Uma parada de ônibus que dá acesso somente a linhas alimentadoras não passaria da classe 1 (NP_NORM de 0 a 0,10) com uma frequência menor do que 2.000 viagens/dia. A frequência de viagens interbairros já provoca uma mudança de classe com cerca de 1000 viagens/dia, enquanto as linhas de acesso ao centro e diretas provocam mudanças mais rápidas. Naturalmente que tais frequências somente serão alcançadas somando-se diversas linhas que atendem uma mesma parada.

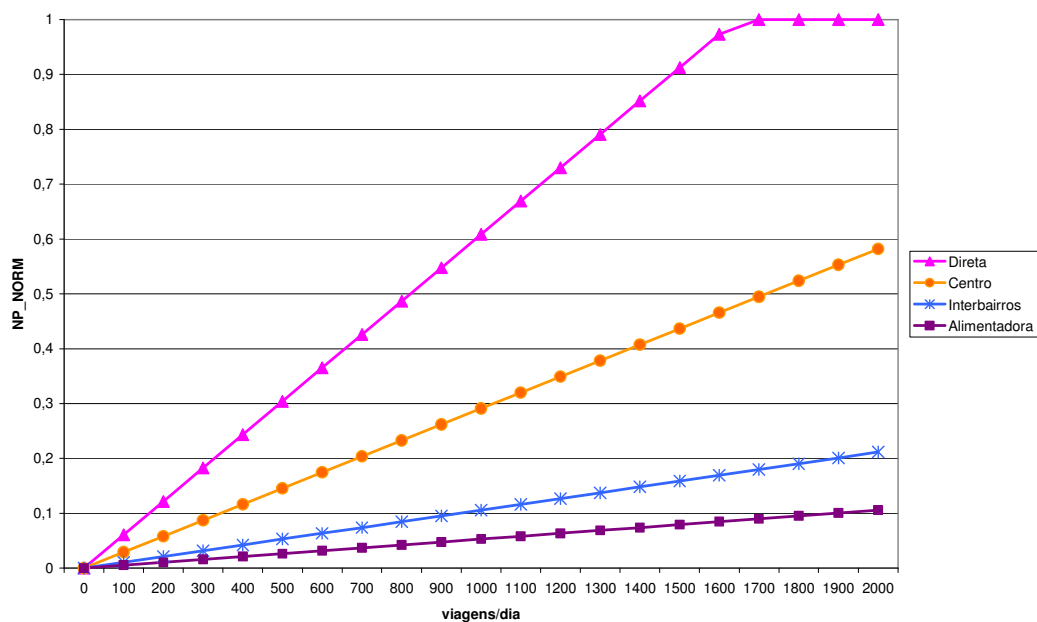


Figura 5 – Acessibilidade das paradas x frequência

5 OFERTA X DEMANDA

O Equilíbrio (ou desequilíbrio) entre oferta de transporte coletivo e demanda potencial foi avaliado, com o objetivo de complementar a informação obtida através do índice de acessibilidade. A partir do número de viagens atraídas e produzidas por zona de tráfego pode-se obter um nível adimensional de atração e produção, variando de zero a 1, conforme equação (4).

$$N_ATR_PROD_{ZT} = \frac{ATR + PROD_{ZT} - ATR + PROD_{Mínimo}}{ATR + PROD_{Máximo} - ATR + PROD_{Mínimo}} \quad (4)$$

Onde $N_ATR_PROD_{ZT}$ é a soma de viagens atraídas e produzidas pela zona de tráfego. O número de viagens considerado representa o total por todos os modos, não somente por transporte coletivo, buscando representar a demanda potencial mais do que a demanda manifesta, a qual pode ser restrita pela oferta de transporte coletivo.

A quantificação do nível de equilíbrio entre oferta (Índice de Acessibilidade) e demanda (Nível de Atração/Produção de viagens) está representada na Figura 6 e foi calculado subtraindo-se N_ATR_PROD de IA. Assim, quanto mais próximo de zero, maior o equilíbrio. Valores positivos indicam sobre-oferta e vice-versa.

Enquanto o mapa da Figura 3 permite a comparação de zonas apenas quanto à oferta de transporte coletivo, o mapa da Figura 6 agrega a ponderação de oferta e demanda. A partir da identificação de zonas com níveis discrepantes de oferta e demanda, os indicadores componentes do índice de acessibilidade podem ser resgatados.

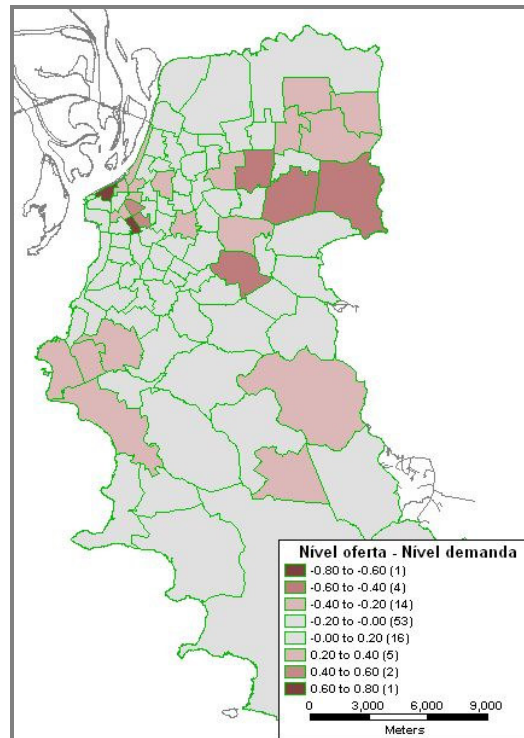


Figura 6 – Desequilíbrio entre oferta e demanda

6 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTO FUTURO

O índice proposto caracteriza satisfatoriamente as zonas de tráfego quanto à oferta de transporte coletivo. Entretanto, a utilidade prática dessa medida pode ser mais efetiva se a mesma for ponderada através de comparação com a demanda.

A sensibilidade do índice a alterações nos vários elementos indica uma aplicabilidade compatível com o planejamento estratégico, mais do que operacional, onde os projetos alteram significativamente a oferta de transportes. A ordem de grandeza da influência de pequenas modificações em indicadores isolados sobre o resultado final dificilmente poderia ser representada graficamente de maneira visível. Isso condiz com a proposta inicial do estudo, de relativização do nível local de acessibilidade.

Dando seqüência ao estudo, pretende-se incluir na avaliação a oferta de transporte coletivo em fins-de-semana, o que dá uma dimensão da acessibilidade oferecida para atividades de lazer. Além disso, dados relativos a capacidade ofertada deverão ser considerados, por representarem uma informação mais exata do que somente a frequência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BHAT, C. et al (2002) **Development of an Urban Accessibility Index**: a Summary. Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin. Project Summary Report 4938-S.
- BTS (1997), **Mobility and Access**: Transportation Statistics Annual Report 1997, Bureau of Transportation Statistics (www.bts.gov), pp. 173-192.
- GRENGS, J. e Arbor, A (2003) **Measuring Change in Small-Scale Transit Accessibility with GIS**: the Cases of Buffalo and Rochester. Urban and Regional Research Collaborative, University of Michigan. Working Paper URCC 03-04.
- LITMAN, T. (2007) **Evaluating Accessibility for Transportation Planning**. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada.
- MACLAREN, V. (1996) **Urban Sustainability Report**, Journal of the American Planning Association, 3 – 22.
- RAIA JR., A. A. (2000) **Mobilidade e Acessibilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informações Geográficas**. Tese de Doutorado, USP, EESC, São Carlos, SP.
- ROOD, T. (1997) **Local Index of Transit Availability**: Riverside County, California Case Study Report. Local Government Commission, Sacramento, CA.
- SAISANA, M. et al (2005a) **Knowledge Economy Indicators**: State-of-the-Art Report on Composite Indicators for the Knowledge-based Economy. Joint Research Centre, European Commission, Ispra, Italia. Disponível na internet: <http://kei.publicstatistics.net>.
- SAISANA, M. et al (2005b) **Knowledge Economy Indicators**: Input to Handbook of Good Practices for Composite Indicators' Development. Joint Research Centre, European Commission, Ispra, Italia. Disponível na internet: <http://kei.publicstatistics.net>.
- SAATY, T. L. (1991) **Método de Análise Hierárquica**. Makron Books do Brasil Editora Ltda. e Editora McGraw-Hill do Brasil, Rio de Janeiro/RJ.
- TCRP (2003) **A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System**, TCRP Report 88. Transit Cooperative Research Program, Transportation Research Board, Washington, DC.

ENDEREÇOS DOS AUTORES:

Luciana Guadalupe Ferronato - lucianag@epc.prefpoa.com.br

Fernando Dutra Michel - michel@epc.prefpoa.com.br

Empresa Pública de Transporte e Circulação – EPTC

R. João Neves da Fontoura, 7

90050-030 – Porto Alegre - RS