

# USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**EESC**

**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO  
CARLOS**

**ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE NA  
ESTIMATIVA DE UM ÍNDICE DE POTENCIAL  
DE VIAGENS UTILIZANDO REDES NEURAI  
S ARTIFICIAIS E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES  
GEOGRÁFICAS**

**Eng. ARCHIMEDES AZEVEDO RAIA JUNIOR**

**Orientador Prof. Dr. Antônio Néilson R. da Silva**

**SÃO CARLOS 2000**

**ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE NA ESTIMATIVA  
DE UM ÍNDICE DE POTENCIAL DE VIAGENS  
UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS E  
SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS**

**Archimedes Azevedo Raia Junior**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil – Transportes.

**ORIENTADOR: Prof. Assoc. Antônio Néilson  
Rodrigues da Silva**

São Carlos 2000

*“Eu não sou nada.  
Nunca serei nada.  
Não posso querer ser nada.  
À parte isso, tenho em mim  
todos os sonhos do mundo”  
(Fernando Pessoa)*

## **DEDICATÓRIA**

À minha esposa Lúcia Lia, aos meus filhos  
Guilherme e Henrique

Aos meus pais, Archimedes e Maria de Lourdes,  
em memória.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Antônio Néelson Rodrigues da Silva, não apenas pela atenção, empenho, dedicação e obstinação na orientação desta tese, mas sobretudo pela amizade, horas de lazer e convívio familiar dedicadas a um melhor resultado deste estudo.

Ao Prof. Dr. Eiji Kawamoto, pela cessão dos dados da pesquisa O-D.

À minha esposa Lúcia Lia, aos meus filhos Guilherme e Henrique, que souberam entender a minha ausência durante a elaboração deste trabalho.

À minha mãe Maria de Lourdes, grande incentivadora do meu trabalho, que partiu para o convívio com Deus, durante a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Titular Antonio Clóvis Pinto Ferraz, maior incentivador para que eu seguisse a carreira acadêmica, pela consideração, pela força e fé no meu trabalho.

Aos meus amigos, em especial ao Eng. Eduardo Botaccin, Eng. Cylene Maria S. Garcia Sé e Antonio Vieira Almeida, pela amizade e incentivo ao meu trabalho.

Aos colegas do Departamento de Transportes EESC-USP, em especial Nair Cristina Margarida Brondino, Renato da Silva Lima, Delfos Henrique Lópes-Reyes e Fábio G. Wermersch pela inestimável ajuda.

Aos professores do Departamento de Transportes EESC-USP, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos meus colegas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, pelo incentivo e compreensão.

Aos funcionários do Departamento de Transportes EESC-USP, de modo especial Heloísa, Lilian, Angélica, Sueli, Néelson.

De maneira geral, agradeço a todos aqueles que, de uma forma ou outra, contribuíram para a consecução deste trabalho e que, por mero esquecimento, não foram aqui mencionados.

## LISTA DE ACRÔNIMOS

ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNH	Banco Nacional da Habitação
CAD	Computer Aided Design
CE	Comunidade Européia
CEPAL	Comissão Econômica da ONU para a América Latina e Caribe
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego-SP
CMSP	Companhia do Metropolitano de São Paulo
CNT	Center for Neighborhood Technology
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CS&A	Cloraldino Severo & Associados
CTAQC	Chicagoland Transportation and Air Quality Commission
DIEESE	Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Sócio-Econômicos
DOT	Department of the Environment, United Kingdom
FETRANSPOR	Federação das Empresas Rodoviárias do Leste Meridional do Brasil
FTA	Federal Transit Administration
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
GIS	Geographic Information Systems
GTI	Gravity Type Index
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITA	Integral Transportation Accessibility
ITE	Institut of Transportation Engineers
JC	Jornal da Cidade, de Bauru
MLP	Multilayer Perceptron
MSI	Mean Separation Index
NTU	Associação Nacional de Empresas de Transportes Urbanos
O-D	Origem-destino
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development

OIT	Organização Internacional do Trabalho
ONU	Organização das Nações Unidas
PNAD	Plano Nacional de Amostragem por Domicílio
RM	Região Metropolitana
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RNA	Rede Neural Artificial
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SINDUSCOM	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SM	Salário mínimo
SNNS	Stuttgart Neural Network Simulator
TAC	Transportation Association of Canada
USDOT	United States Department of Transportation
ZCN	Zona central de negócios

## SUMÁRIO

---

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Delimitação do problema, objetivos e instrumentos .....	7
1.2 Estrutura da tese.....	9
2. ACESSIBILIDADE .....	11
2.1 Introdução.....	11
2.2 Definições sobre acessibilidade e o seu estado da arte .....	14
2.3 Relação entre acessibilidade e comportamento humano .....	24
2.3.1 Padrão de viagens.....	25
2.3.2 Propriedade de automóveis .....	26
2.3.3 Localização residencial.....	26
2.3.4 Desenvolvimento da região residencial.....	26
2.4 Relação entre acessibilidade e uso do solo .....	27
3. INDICADORES DE ACESSIBILIDADE.....	29
3.1 Classificação de indicadores: uma proposta abrangente .....	31
3.1.1 Indicadores do tipo atributos de redes.....	31
3.1.2 Indicadores do tipo quantidade de viagens.....	39
3.1.3 Indicadores do tipo oferta do sistema de transporte .....	41
3.1.4 Indicadores que usam dados agregados que combinam aspectos de transportes e uso do solo .....	43
3.1.5 Indicadores que usam dados desagregados que combinam aspectos de transportes e uso do solo .....	52
4. MOBILIDADE .....	59
4.1 As lógicas que determinam a mobilidade urbana.....	59
4.2 Definições, conceitos e considerações sobre mobilidade.....	61
4.3 Indicadores de mobilidade .....	68
4.3.1 Indicadores de mobilidade do tipo viagens observadas.....	68
4.3.2 Indicadores de mobilidade do tipo facilidade de viagens .....	69
4.3.3 Indicadores de mobilidade do tipo potencial de viagens .....	69
4.3.4 Outros indicadores de mobilidade .....	72
4.4 Grupos com menor mobilidade .....	73
4.5 Mobilidade dos grupos de baixa renda.....	75
4.5.1 As dificuldades de deslocamento dos grupos de baixa renda .....	75
4.5.2 Mobilidade em cidades brasileiras.....	79
5. ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE.....	84
5.1 Acessibilidade e mobilidade: conceitos que se complementam.....	85
5.2 Abordagens que associam os conceitos de mobilidade e acessibilidade conjuntamente .....	89

6. REDES NEURAIS, SIG E FONTES DE DADOS .....	92
6.1 <i>Inteligência Artificial</i> .....	92
6.1.1 Breve histórico sobre Redes Neurais.....	94
6.1.2 Redes Neurais Artificiais .....	96
6.1.3 Redes Neurais Artificiais na Engenharia de Transportes.....	105
6.2 <i>Sistema de Informações Geográficas</i> .....	108
6.2.1 Componentes do Sistema de Informações Geográficas .....	109
6.2.2 A Estrutura de Sistema de Informações Geográficas .....	111
6.2.3 Os Sistemas de Informações Geográficas e o Planejamento de Transportes.....	112
6.3 <i>Obtenção de dados para planejamento de transportes</i> .....	115
6.3.1 Pesquisa Origem-Destino.....	116
6.3.1 Aspectos relacionados à pesquisa O-D.....	118
7. METODOLOGIA .....	120
7.1 <i>Obtenção de dados</i> .....	122
7.2 <i>Base de dados georreferenciada</i> .....	124
7.3 <i>Cálculo da acessibilidade</i> .....	126
7.4 <i>Redes Neurais Artificiais para obtenção de modelos preliminares</i> .....	127
7.5 <i>Índice de potencial de viagens</i> .....	130
8. ESTUDO DE CASO .....	132
8.1 <i>Caracterização da cidade de Bauru</i> .....	132
8.2 <i>A utilização de dados de uma pesquisa origem-destino</i> .....	134
8.2.1 Análise preliminar dos padrões de viagens.....	138
8.3 <i>A elaboração da base de dados em SIG</i> .....	144
8.4 <i>Cálculo da acessibilidade</i> .....	149
8.5 <i>Aplicação de Redes Neurais</i> .....	150
8.5.1 Modelos preliminares.....	152
8.6 <i>Índice de potencial de viagens</i> .....	161
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	171
10. BIBLIOGRAFIA.....	178

## LISTA DE FIGURAS

---

FIGURA 1.1 ESTRUTURA DIAGRAMÁTICA DO TRABALHO .....	10
FIGURA 2.1 - RELAÇÃO ENTRE MOBILIDADE, ACESSIBILIDADE E COMPORTAMENTO DE VIAGENS .....	16
FIGURA 2.2 - RELAÇÃO ENTRE ACESSIBILIDADE, TRANSPORTE E USO DO SOLO ..	27
FIGURA 3.1 - REDE HIPOTÉTICA E SUA MATRIZ DE CONECTIVIDADE.....	33
FIGURA 3.2 – MEDIDA GRÁFICA DE ACESSIBILIDADE .....	54
FIGURA 4.1 – ÍNDICE DE MOBILIDADE POR RENDA FAMILIAR MENSAL (RMSP - 87 E 97) .....	82
FIGURA 4.2 – EVOLUÇÃO DA TAXA DE MOBILIDADE MOTORIZADA NA RMSP DE 67 A 97 .....	83
FIGURA 6.1 - UM NEURÔNIO E SEUS COMPONENTES .....	94
FIGURA 6.2 - MODELO NÃO LINEAR DE UM NEURÔNIO .....	98
FIGURA 6.3 - COMPORTAMENTO DE CLASSIFICAÇÃO DE 2 PADRÕES DE UMA REDE COM 1 CAMADA INTERMEDIÁRIA .....	103
FIGURA 6.4 - TOPOLOGIA DE UMA REDE MLP COM 2 CAMADAS INTERMEDIÁRIAS .....	104
FIGURA 6.5 - COMPONENTES PRINCIPAIS DE UM SIG .....	110
FIGURA 6.6 - FEIÇÕES GEOGRÁFICAS REPRESENTADAS EM CAMADAS RELACIONADAS.....	112
FIGURA 8.1 - LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE BAURU NO ESTADO DE SÃO PAULO .....	133
FIGURA 8.2 - FOTOS AÉREAS DA CIDADE DE BAURU.....	133

---

<b>FIGURA 8.3 - DIVISÃO DA CIDADE EM ZONAS DE TRÁFEGO, COM DESTAQUE PARA A ZCN.....</b>	<b>135</b>
<b>FIGURA 8.4 - ESCOLHA MODAL POR CLASSE DE RENDA INDIVIDUAL, EM BAURU.....</b>	<b>143</b>
<b>FIGURA 8.5 - ESCOLHA MODAL POR CLASSE DE RENDA FAMILIAR, EM BAURU ..</b>	<b>144</b>
<b>FIGURA 8.6 - MAPA DE EIXOS DE VIAS DE BAURU .....</b>	<b>146</b>
<b>FIGURA 8.7 - DETALHE DO MAPA DE BAURU COM O NOME DE RUAS .....</b>	<b>147</b>
<b>FIGURA 8.8 - NUMERAÇÃO ESPECÍFICA DE QUADRAS DE BAURU.....</b>	<b>147</b>
<b>FIGURA 8.9 - LINHAS DE TRANSPORTE COLETIVO DE BAURU .....</b>	<b>148</b>
<b>FIGURA 8.10 - LOCALIZAÇÃO DOS DOMICÍLIOS-ORIGEM DAS VIAGENS .....</b>	<b>148</b>
<b>FIGURA 8.11 - MAPA TEMÁTICO DE ACESSIBILIDADE CONTENDO A SEPARAÇÃO MÉDIA ENTRE NÓS.....</b>	<b>150</b>
<b>FIGURA 8.12 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO ENTRE OS NÚMEROS DE VIAGENS OBSERVADOS E DE VIAGENS PREVISTAS PELO MODELO PARA VIAGENS POR TODOS OS MODOS.....</b>	<b>156</b>
<b>FIGURA 8.13 - LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DAS FAMÍLIAS DE ACORDO COM O SEU TAMANHO .....</b>	<b>163</b>
<b>FIGURA 8.14 - RENDA FAMILIAR INDIVIDUAL .....</b>	<b>164</b>
<b>FIGURA 8.15 - TAMANHO MÉDIO DE FAMÍLIA POR ZONA .....</b>	<b>165</b>
<b>FIGURA 8.16 - RENDA MÉDIA FAMILIAR POR ZONA.....</b>	<b>166</b>
<b>FIGURA 8.17 - ACESSIBILIDADE MÉDIA POR ZONA .....</b>	<b>166</b>
<b>FIGURA 8.18 - NÚMERO DE VIAGENS REAIS POR ZONA.....</b>	<b>168</b>
<b>FIGURA 8.19 - NÚMERO DE VIAGENS POTENCIAIS POR ZONA.....</b>	<b>168</b>
<b>FIGURA 8.20 - RELAÇÃO ENTRE VIAGENS REAIS E POTENCIAIS .....</b>	<b>170</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 4.1 - TAXA DE MOBILIDADE DE TIPOS DE AGLOMERADOS BRASILEIROS E A MÉDIA MUNDIAL .....</b>	<b>79</b>
<b>QUADRO 4.2 - ÍNDICES DE MOBILIDADE DE DIFERENTES CLASSES DE RENDA NA RM DE SÃO PAULO PARA 1977.....</b>	<b>80</b>
<b>QUADRO 4.3 - ÍNDICE DE MOBILIDADE DE DIFERENTES CLASSES DE RENDA MENSAL MÉDIA FAMILIAR NA RM DE SÃO PAULO PARA 1987 E 1997.....</b>	<b>81</b>
<b>QUADRO 4.4 - TAXA DE MOBILIDADE DE CIDADES DE PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>83</b>
<b>QUADRO 7.1 - TAMANHO DE AMOSTRA QUE SE RECOMENDA PARA ESTUDOS COM ENTREVISTAS DOMICILIÁRES.....</b>	<b>123</b>
<b>QUADRO 8.1 - VIAGENS REALIZADAS SEGUNDO O MODO, EM BAURU E RMSP.....</b>	<b>139</b>
<b>QUADRO 8.2 - VIAGENS REALIZADAS POR QUALQUER MODO SEGUNDO O MOTIVO PARA BAURU E RMSP .....</b>	<b>139</b>
<b>QUADRO 8.3 - VIAGENS REALIZADAS SEGUNDO O MODO E O SEXO, EM BAURU..</b>	<b>140</b>
<b>QUADRO 8.4 - VIAGENS REALIZADAS SEGUNDO O MODO E O MOTIVO, EM BAURU E RMSP .....</b>	<b>141</b>
<b>QUADRO 8.5 - VIAGENS REALIZADAS POR QUALQUER MODO, SEGUNDO A FAIXA ETÁRIA.....</b>	<b>141</b>
<b>QUADRO 8.6 - TEMPOS DE VIAGENS PELO MODO NÃO MOTORIZADO.....</b>	<b>142</b>
<b>QUADRO 8.7 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DOS MODELOS, USANDO TODAS AS VARIÁVEIS DE ENTRADA, CONSIDERANDO O NÚMERO DE VIAGENS.....</b>	<b>154</b>
<b>QUADRO 8.8 - RELEVÂNCIA DE CADA VARIÁVEL DE ENTRADA NOS MODELOS QUE LEVARAM EM CONSIDERAÇÃO O NÚMERO DE VIAGENS .....</b>	<b>155</b>

**QUADRO 8.9 - RESULTADOS DOS MODELOS, USANDO TODAS AS VARIÁVEIS DE ENTRADA, CONSIDERANDO A DISTÂNCIA PRCORRIDA NAS VIAGENS..... 158**

**QUADRO 8.10 - RELEVÂNCIA DE CADA VARIÁVEL DE ENTRADA NOS MODELOS QUE LEVARAM EM CONSIDERAÇÃO A DISTÂNCIA PERCORRIDA NAS VIAGENS . 159**

**QUADRO 8.11 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DOS MODELOS, USANDO TODAS AS VARIÁVEIS DE ENTRADA, CONSIDERANDO O NÚMERO DE VIAGENS..... 160**

**QUADRO 8.12 - RELEVÂNCIA DA CADA VARIÁVEL DE ENTRADA NOS MODELOS QUE LEVARAM EM CONSIDERAÇÃO A DISTÂNCIA PERCORRIDA NAS VIAGENS . 161**

## RESUMO

---

RAIA Jr., Archimedes Azevedo. Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informações Geográficas. São Carlos, 2000. 217p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

De maneira geral, o processo de planejamento de transportes não tem apresentado a sensibilidade suficiente para resolver ou ao menos atenuar o conflito entre o que é planejado e a necessidade real dos cidadãos urbanos, principalmente os de menor renda. Além disso, embora seja freqüente que as análises levem em conta aspectos ligados à acessibilidade, ou os ligados à mobilidade, isto em geral é feito de forma não associada. Como resposta a esta deficiência, o objetivo principal desta tese é propor, visando o planejamento estratégico, um processo de modelagem destinado a estimar potenciais de viagens integrando ambos os aspectos.

Após uma abrangente revisão bibliográfica, foi proposta uma metodologia que prevê, inicialmente, a incorporação de dados espaciais a uma pesquisa origem-destino (O-D) com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Assim, à variáveis de entrada relacionadas com aspectos de mobilidade, como renda, por exemplo, é anexada a acessibilidade dos domicílios, calculada através de um indicador adequado. As variáveis de saída, viagens realizadas (p.ex., número e extensão), devem ser extraídas da pesquisa O-D e calculadas com o uso de um SIG suas características principais. Em seguida, faz-se uso de Redes Neurais Artificiais para construir modelos preliminares para avaliação de desempenho de variáveis de entrada e saída, o que permite posterior reformulação dos mesmos a partir das variáveis de melhor desempenho, na construção de um Índice Potencial de Viagens - IPV.

Em uma aplicação para um estudo de caso em uma cidade de médio porte, de maneira geral, os resultados obtidos com o modelo de potencial de viagens revelaram uma certa superioridade em relação à medida convencional de acessibilidade adotada, quando usada isoladamente para fins de planejamento estratégico. A comparação entre a correlação que guardam os resultados do modelo proposto e os dados de viagens reais com a correlação existente entre os valores da medida de acessibilidade convencional adotada e os dados de viagens reais reforça este ponto. No primeiro caso, obteve-se um *coeficiente de correlação* ( $r$ ) igual a 0,60 e, no segundo, 0,21. A constatação da relevância das variáveis de entrada usadas no modelo final (tamanho da família, acessibilidade e renda familiar) reforçou a tese de que aspectos de acessibilidade e mobilidade devem ser considerados conjuntamente nas abordagens de planejamento de transportes.

Como conclusão, considerando o nível de planejamento estratégico de uma cidade, a metodologia aqui apreçoada parece ser um avanço em relação aos modelos de acessibilidade convencionais e uma ferramenta útil para os tomadores de decisão em planejamento urbano e de transportes. A metodologia sinaliza que não basta apenas

prover a população de acessibilidade física, mas é preciso propiciar a ela meios que possam garantir-lhe melhores índices de mobilidade.

## ABSTRACT

---

RAIA Jr., Archimedes Azevedo. Accessibility and mobility in the estimate of a trips potential index using Artificial Neural Networks and Geographic Information Systems. Ph.D. Dissertation, Department of Transportation, São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, 2000.

In general, the transportation planning process is not sensible enough to solve or at least to reduce the gap between what is planned and the real needs of urban citizens, specially those who belong to low income classes. Besides, although the analyses often take into account accessibility elements and mobility components they rarely do it in an integrated manner. As an answer to this deficiency, the objective of this work is develop a modeling approach for estimating potential trips that integrates both aspects for strategic planning purposes.

Based on a comprehensive literature review, a new methodology is then proposed. It starts with the integration of origin-destination (O-D) survey data and spatial data obtained in a Geographical Information System (GIS) environment. Next, a mean separation accessibility index estimated for all households must be linked to their mobility variables, such as income, for example, in the same database. The output variables, i.e. trip characteristics (number and length), can be taken from the O-D survey or calculated in a GIS-environment. Next, exploratory models should be built with Artificial Neural Networks in order to evaluate the behavior of input and output variables. Only those variables selected as the most relevant in the evaluation phase are used thereafter to rebuild the models and to generate the Trip Potential Index - TPI.

The proposed approach has been tested in a case study carried out in a Brazilian medium-sized city. For the most part, the results obtained with the trip potential model here developed suggest its superiority when compared to a conventional, selfstanding accessibility measure for strategic planning purposes. An analysis of two correlation coefficients, the first one got when the model estimates are compared with the real trip values ( $r = 0.60$ ) and the second one got when the model estimates are compared with the accessibility values ( $r = 0.21$ ), also strengthen the previous statement. Size and income of the household, which may be associated to mobility, and the accessibility indicator itself, were selected as the most relevant variables in the model. The selection of those variables stressed the assumption that accessibility and mobility should be examined together in transportation planning analyses.

In conclusion, for the level of strategic planning, the methodology presented in this work seems to be a step forward in relation to traditional accessibility models and a useful tool for urban and transportation planners and decision-makers. The approach makes clear that urban citizens need not only physical accessibility, but also better mobility conditions.

# 1. INTRODUÇÃO

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

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

O exemplo de São Paulo mostra a “cirurgia urbana” sofrida pela metrópole: o sistema viário foi ampliado e adaptado para garantir integração generalizada do espaço. Essas ações foram desenvolvidas dentro de um processo de crescimento acelerado do número de veículos, sem considerar a segurança e a qualidade de vida, levando à destruição do espaço existente e a manutenção de elevados índices de acidentes de trânsito (VASCONCELOS, 1993).

A irrefreável tendência no uso do automóvel acabou modificando toda uma distribuição modal, com conseqüências seríssimas, determinando a desmobilização e

deterioração dos transportes públicos, os quais chegaram a déficits intoleráveis (FERRAZ, 1991). Em função disso, quem mais sofreu foram “as camadas inferiores da sociedade urbana [que] estão subordinadas a meios de locomoção freqüentemente precários e pelos quais devem pagar uma parcela cada vez maior dos seus ganhos. Essa vocação é agravada por dois fatores concomitantes: a expansão territorial da cidade e a diversidade do consumo das famílias” (SANTOS, 1990, p.79).

A atual crise do modelo urbano brasileiro e as alterações políticas, econômicas e sociais em escala mundial pedem novos esforços de organização do desenvolvimento das cidades, do transporte público e do trânsito. Problemas como o congestionamento crônico, redução no uso do transporte público, queda na mobilidade e acessibilidade, degradação do meio ambiente, altas taxas de acidentes de trânsito estão presentes nos cenários de muitas cidades brasileiras. Além disso, os custos do inadequado modelo de transporte urbano são socialmente inaceitáveis e constituem obstáculo estratégico significativo, e sua permanência é incompatível com uma melhor qualidade de vida (ANTP, 1999).

Associada a estes problemas existe a crescente taxa de urbanização das cidades brasileiras, atingindo índices de países desenvolvidos, quase sempre acima de 70%. Este aumento na urbanização das cidades, não só brasileiras como do resto do “mundo em desenvolvimento”, nas últimas duas ou três décadas, em grande parte, tem sido resultado de migrações das áreas rurais.

No contexto do desenvolvimento capitalista, marcado pelos aspectos de exclusão e concentração, onde as desigualdades se mantêm e se reproduzem, as políticas sociais nas últimas cinco décadas não foram capazes de amenizar as diferenças de oportunidades e nem diminuir o “fosso” que divide os mais ricos dos mais pobres. Pelo contrário, a tendência tem sido a de manter as desigualdades, apesar de que dos anos 30 aos anos 80 se constatasse um crescimento econômico e um avanço no alcance das políticas sociais. O balanço, em geral, pode ser considerado negativo, uma vez que esse progresso ocorreu de forma paralela a um aumento nos graus de desigualdade, de pobreza e de miséria, obrigando a uma

revisão de paradigmas, concepções e modos de atuação (MELO<sup>1</sup> apud PINHEIRO, 1996).

O agravamento da desigualdade social no Brasil pode ser verificado por dados fornecidos por THE ECONOMIST<sup>2</sup> apud KLIKSBERG (1998): em 1970, 1% da população mais rica do Brasil detinha 8% da renda nacional; em 1994, os ricos aumentaram sua participação para 15%. Por outro lado, em 1970, o grupo representado pelos 25% mais pobres era responsável por 16% da riqueza nacional; em 1994, a porcentagem caiu para apenas 12%.

Em recente estudo do BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento, que reúne estimativas de pobreza para 18 países latino-americanos, o Brasil aparece em 11º lugar, com cerca de 42% dos seus habitantes ganhando menos de U\$2 por dia. Consta do relatório que “a pobreza é, na maior parte das vezes, e certamente é assim na América Latina, um problema estrutural causado pelo modo como a totalidade do sistema econômico funciona”, o que condiciona a eficácia de políticas à sua capacidade de modificar o ambiente econômico de modo que todos os indivíduos possam aproveitar as oportunidades que se apresentem (SINDUSCOM, 2000).

Em situações onde ocorre uma queda nas condições de vida, as famílias mudam seu comportamento de consumo para sobreviver, substituindo o item de consumo por outro similar mais barato, chegando até mesmo à sua eliminação (BOTELHO & FORTES, 1994), mesmo considerando o caso do transporte.

Enquanto as cidades pré-automotivas permitiam um consumo fácil do espaço por todas as pessoas, as cidades modernas começaram a expandir-se em grandes áreas, tornando cada vez mais difícil deslocar-se por meios não motorizados. Mais recentemente as cidades experimentaram um crescimento ainda mais intenso, gerando distâncias médias que não podem ser percorridas a pé ou de bicicleta. Assim, a dependência do transporte motorizado tornou-se inevitável em cidades

---

<sup>1</sup> MELO, M.A.B.C (1989) Políticas públicas e transição democrática. In: MOURA, A.S. (org.). *O estado e as políticas públicas na transição democrática*. São Paulo apud PINHEIRO (1996).

<sup>2</sup> THE ECONOMIST (1995). Apr. 29 apud KLIKSBERG (1998).

médias e grandes (SANTOS, 1990), exigindo que alguma forma de transporte motorizado esteja disponível fisicamente (infra-estrutura e veículos) e seja acessível economicamente (RIDLEY, 1985; VASCONCELOS, 1996b).

Também a especulação sobre a terra, a debilidade dos controles públicos sobre o crescimento urbano e a segregação espacial de classes e grupos sociais foram fatores que contribuíram para gerar agrupamentos sociais altamente diferenciados por renda e características sociais, com as camadas mais pobres sendo deslocadas para áreas mais periféricas. Tais formas de segregação social afetam diretamente a provisão de infra-estrutura e de equipamentos públicos como escolas, hospitais, postos de saúde e creches, afetando, portanto, as condições de acesso das pessoas e reforçando ainda mais a dependência do transporte motorizado, uma vez que a oferta de empregos e de serviços públicos e privados não se adapta perfeitamente à esta divisão (VASCONCELOS, 1996b).

O planejamento da circulação tem sido fortemente influenciado pelo mito da neutralidade, utilizando ferramentas técnicas que evitam análises sociais e políticas, mas que supostamente objetivaram uma distribuição igual do espaço de circulação para “todas as pessoas”. Isto resultou em um espaço de circulação no qual as necessidades dos segmentos mais vulneráveis (pedestres, ciclistas, passageiros do transporte público) foram prejudicadas para permitir uma utilização mais eficiente do automóvel. Os usuários do transporte público enfrentam três barreiras: a provisão do transporte em si, a falta de medidas de prioridade na circulação e o alto custo representado pela tarifa (VASCONCELOS, 1996b).

Com maiores distâncias a percorrer e com serviços precários de transporte, a maioria da população precisa aumentar seus gastos de tempo para realizar suas atividades essenciais. A consequência mais importante, além das sobrecargas física e psicológica, é que os setores de renda mais baixa têm sua acessibilidade grandemente limitada, com quase todas as viagens feitas apenas para os motivos de trabalho, escola e compras. A distribuição da acessibilidade gerada pelas políticas de transporte e trânsito adotadas nos países em desenvolvimento está caracterizada por várias iniquidades (VASCONCELOS, 1996b).

A questão social está relacionada à varias iniquidades nas condições de transportes, no pensamento de VASCONCELOS (1996b), podendo-se evidenciar duas como sendo as mais importantes:

- a) a da acessibilidade, uma vez que a maioria das pessoas não tem a mesma acessibilidade desfrutada, por exemplo, pelos proprietários de automóvel. Esta iniquidade pode ser dividida em quatro componentes: tempo de acesso ao transporte, tempo de espera, tempo dentro do veículo e tempo até o destino final após deixar o veículo. Em todos os casos, os usuários do transporte público enfrentam condições piores que os usuários do automóvel. Há que se citar a questão de conforto, uma vez que as condições internas dos veículos de transporte público são geralmente inadequadas, sendo a densidade de passageiros suficientemente alta para causar desconforto e tensão.
- b) a das atividades das pessoas e famílias de baixa renda, que ao dedicarem a maior parte de seu tempo para viagens de trabalho, ficam com pouco tempo e dinheiro para realizar outras atividades; as pessoas e famílias de renda mais elevada apresentam, ao contrário, uma rede de atividades muito mais diversificada.

Para CARRUTHERS & LAWSON (1995, p.18), “as cidades devem ser projetadas de tal modo que todos os cidadãos tenham acesso a todos os lugares. (...) O deslocamento, a comunicação e o transporte público devem ser acessíveis a todas as pessoas” para se assegurar qualidade e igualdade a todos.

O achatamento salarial reduziu as possibilidades de acesso da população aos meios de transporte coletivo urbano, pois os custos operacionais aumentaram mais do que a capacidade de pagamento dos usuários. Tornou-se imperativa a adoção do subsídio aos transportes públicos, segundo ANTP (1985).

Há que se considerar o aspecto agravante do crescente aumento da taxa de desemprego no Brasil, fazendo com que, cada vez mais as pessoas, principalmente as

mais carentes, sejam alijadas do uso de um sistema de transporte predominantemente motorizado.

A organização do sistema de transporte torna ainda mais pobres os que “devem” viver longe dos centros, não só porque “necessitam” pagar caro seus deslocamentos, como porque a oferta de serviços e bens é dispendiosa nas periferias. Os recursos públicos, em geral, estão orientados para os investimentos econômicos, em detrimento dos gastos sociais (SANTOS, 1993).

Para JOAQUIM (1997), existe um déficit na oferta de serviços e infraestrutura urbana, segregação espacial e iniquidade nas condições de acesso e custo, determinados por um sistema de transporte que dá prioridade ao uso do automóvel em detrimento do transporte público e modos não motorizados. Estes aspectos determinam prejuízos significativos à qualidade de vida da maior parcela da população, que, no caso de países em desenvolvimento, é representada pelas classes de baixa renda. VASCONCELOS (1993) é incisivo: “nas cidades brasileiras, o direito de circular e a forma com que se dá a circulação são altamente condicionados pelas condições sociais, políticas e econômicas de seus habitantes

As políticas de transportes constituem instrumentos muito importantes para gerenciar o crescimento das cidades de forma eficiente e sustentável, mas com uma preocupação social clara. As políticas de transporte devem ser usadas para reduzir a desigualdade, além de inibir as tendências de reprodução da pobreza. Isto, no entanto, requer uma alteração dos parâmetros e paradigmas tradicionais (DRAIBE, 1993).

As metodologias de planejamento disponíveis, segundo VASCONCELOS (1996b), vêm sendo aplicadas no sentido de manter as desigualdades e produzindo um crescimento ineficiente das cidades, quando se considera os aspectos ambientais, além de serem excludentes nos aspectos sociais. É evidente que muitas das soluções para os problemas das cidades não dependem somente das políticas de transportes. Necessitam adicionalmente de medidas de médio e longo prazo nas esferas política e econômica.

É importante que se mude os paradigmas sobre as políticas e o planejamento urbano e de transportes no Brasil. Normalmente, o planejamento de transportes leva em consideração aspectos técnicos e pseudo-sociais. Para VASCONCELOS (1996a), o enfoque puramente técnico leva em consideração cálculos genéricos sobre quantidades e custos; o enfoque social é um pouco mais abrangente, no entanto limita-se a simples contabilidade dos impactos sociais. Sugere, então, que seja incorporado também o enfoque sociológico, o qual complementa as análises numéricas simples com abordagens de padrões de viagens levando-se em conta as condições sociais, políticas, econômicas e institucionais que condicionam as decisões de viagem das pessoas.

Para ANTP (2000), existem similaridades entre os problemas encontrados em cidades grandes e nas de médio porte: os graves problemas nas cidades grandes provocados pelo tipo de desenvolvimento urbano e de transporte tendem em curto prazo a ocorrer igualmente nas cidades de médio porte. Dentre eles pode-se citar a “queda na mobilidade e acessibilidade”.

### **1.1 Delimitação do problema, objetivos e instrumentos**

Do que se expôs até aqui, pode-se concluir que existe um sério problema relacionado com o crescimento das cidades, com as dificuldades das pessoas em participar da reprodução social urbana e, paralelamente, com o planejamento dos transportes, que não têm apresentado a sensibilidade suficiente para resolver, ou mesmo diminuir o “abismo” existente entre o que os técnicos planejam e aquilo que as pessoas realmente necessitam.

Esta caracterização preliminar do problema apresenta uma situação extremamente grave que, de maneira mais intensa, afeta diretamente aquelas famílias enquadradas nos grupos de menor renda e que, por isso mesmo, necessitam de preocupações adicionais por parte de administradores, técnicos urbanos e de transportes. Esta situação de extrema iniquidade motivou o autor a definir os objetivos desta tese.

O objetivo geral da tese é, portanto, propor desenvolvimento de modelos destinados à estimar potenciais de viagens urbanas, que integrem, por um lado, o aspectos da acessibilidade e, por outro lado, o impacto da mobilidade fazendo uso para isto das Redes Neurais Artificiais, conhecida técnica de Inteligência Artificial.

Adicionalmente, os objetivos específicos da tese são aos seguintes:

- incorporar dados de natureza espacial a uma pesquisa origem-destino, utilizando recursos de um Sistema de Informações Geográficas;
- construir modelos preliminares para avaliação do desempenho das variáveis de entrada e saída;
- reformular os modelos a partir das variáveis que apresentaram um melhor desempenho;
- aplicar os modelos a um município, tomado como estudo de caso; e
- determinar o peso das variáveis que contribuem para o índice potencial de viagens, através de duas técnicas.

A contribuição para o conhecimento que se procurar protagonizar com a presente tese assenta, essencialmente, em dois vetores:

- a abordagem inovadora na construção de um índice para o planejamento estratégico de transporte urbano, através da inclusão de variáveis de natureza espacial em modelos de Redes Neurais Artificiais, associadas com fatores que caracterizam a mobilidade; e
- investigação dos pesos das variáveis envolvidas, o que permite o desdobramento do modelo em desenvolvimentos futuros.

Os eixos teóricos que caracterizam o desenvolvimento dos modelos são:

- a fundamentação teórica que relaciona os conceitos de acessibilidade e mobilidade dos padrões de viagens urbanas;

- Sistemas de Informações Geográficas como ambiente de desenvolvimento de modelos de natureza espacial, possuidores de potentes ferramentas de análise e processamento espacial; e
- as Redes Neurais Artificiais como ambiente de desenvolvimento adequado para a integração de variáveis relativas à acessibilidade e mobilidade, na estimativa de índices de potenciais de viagens urbanas e para a verificação da influências destas mesmas variáveis de entrada à saída.

## **1.2 Estrutura da tese**

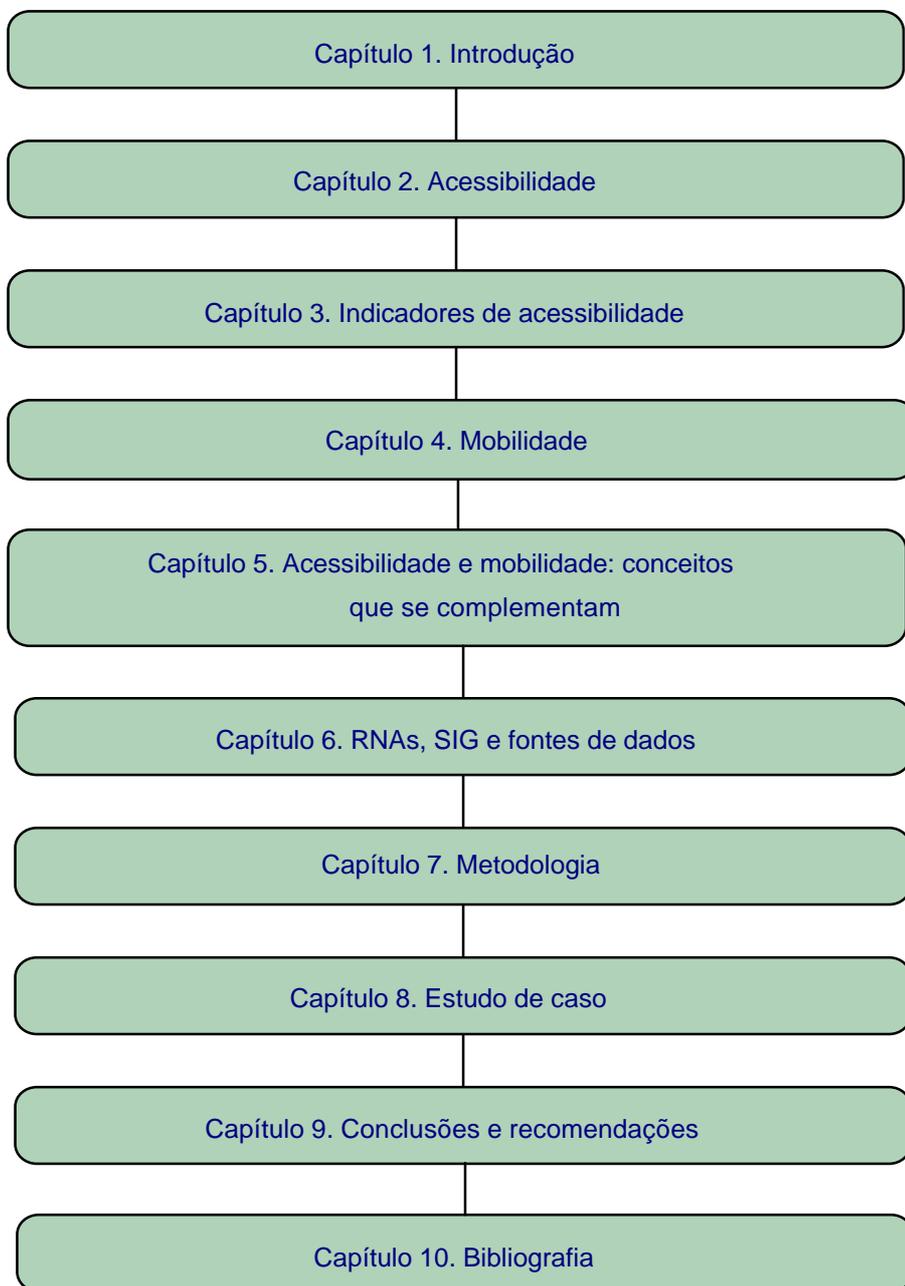
A tese desenvolve-se em ao longo de dez capítulos, constituindo a presente Introdução o Capítulo primeiro.

As diversas maneiras com que o com que a acessibilidade, um dos pilares que fundamentam este trabalho, vêm sendo abordada, questionada, debatida e utilizada fazem parte do Capítulo 2, enquanto que no Capítulo 3, estão apresentadas diversas classificações, abrangendo uma variedade significativa de indicadores de acessibilidade.

No Capítulo 4 é feita uma abordagem sobre o conceito de mobilidade, além de serem apresentados alguns dos indicadores de mobilidade mais utilizados em planejamento de transportes. A forma associada e complementar com que os conceitos mobilidade e acessibilidade são considerados na literatura faz parte do Capítulo 5.

O Capítulo 6 dedica-se ao desenvolvimento dos temas relacionados às Redes Neurais Artificiais, aos Sistemas de Informações Geográficas, além de aspectos relacionados com Pesquisa de Origem-Destino. A metodologia usada no desenvolvimento dos modelos propostos encontra-se descrita em detalhes no Capítulo 7, enquanto que no oitavo Capítulo é feita a aplicação desses modelos a um estudo de caso. As conclusões e recomendações fazem parte do Capítulo 9. Ao final,

no Capítulo 10, está disponibilizada a bibliografia utilizada nesta pesquisa. A Figura 1.1 apresenta um diagrama resumindo a estrutura desta tese.



**Figura 1.1 Estrutura diagramática do trabalho**

## 2. ACESSIBILIDADE

*Este capítulo apresenta, inicialmente, uma introdução com o histórico e a importância do conceito de acessibilidade, bem como a sua diferenciação, no entender de alguns autores, em relação ao conceito de mobilidade. Posteriormente, vários conceitos e definições sobre acessibilidade e o seu estado da arte são apresentados. A relação entre acessibilidade e o comportamento é rapidamente explanada, bem como suas aplicações, pois, acessibilidade pode ser um dos fatores envolvidos na escolha pessoal de um tipo particular de comportamento. Ao final, apresenta-se uma breve análise da relação entre acessibilidade e uso do solo.*

### 2.1 Introdução

O conceito de acessibilidade não é recente. Já no século passado, em 1826, surgiu, ao que se sabe, o primeiro trabalho<sup>3</sup> abordando aspectos relacionados a modelos teóricos de processos espaciais envolvendo acessibilidade. Cerca de oitenta anos depois, surgem dois outros trabalhos: em 1903 e 1909. Desde então, acessibilidade tem sido abordada nos mais variados campos, além de transportes: engenharia, biologia, ciências humanas, computação, química, medicina etc.

O conceito de acessibilidade abordado e debatido por mais de 150 anos permanece, ainda, atual e de grande utilidade para as atividades de planejamento urbano e de transportes (RAIA Jr. *et al.*, 1997). O conceito de acessibilidade tem sido

---

<sup>3</sup> Von THUNEN, J.H. (1826). *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Land Wirtschaft und Nationalökonomie*. English translation Hall, P (ed) 1966, Von Thunen's Isolated Stated, Oxford, Pergamon apud HOGGART (1973).

amplamente empregado na literatura como uma das melhores medidas de qualidade de serviços de transportes (HANDY, 1993).

O termo acessibilidade é freqüentemente usado em geografia humana na explicação de variações espaciais de fenômenos. Na geografia urbana, acessibilidade tem sido aplicada em análises de crescimento das cidades, localização de equipamentos etc. (INGRAM, 1971). O conceito tem sido encontrado com freqüência em trabalhos de planejamento urbano e transportes (ZAKARIA, 1974; FOSTER, 1976; KOENIG, 1980; ALLEN *et al.*, 1993), de forma geral. Poderiam ser ainda citadas, ainda, as seguintes áreas específicas onde o uso de acessibilidade pode ser encontrado: planejamento e formulação de políticas de avaliação da estrutura urbana (BLACK & CONROY, 1977), localização residencial (STEGMAN, 1969; ZAKARIA, 1974; DALVI & MARTIN, 1976; WADDELL, 1998), excedente locacional (ARRUDA, 1997; ARRUDA, 1999); localização industrial e de negócios (ZAKARIA, 1974; ALLEN *et al.*, 1993), determinação de aluguéis, densidade e uso do solo, valorização de lotes urbanos (DALVI & MARTIN, 1976; LINDEMANN *et al.*, 1998, BRONDINO, 1999), escala e roteamento de veículos, crescimento e distribuição da população (ALLEN *et al.*, 1993), no estudo de expansão da redes de transportes (YU, 1983), avaliação de sistemas de transportes (ZAKARIA, 1974; FERRAZ, 1998; FERRAZ, 1999), indicador de desempenho de transporte (SANCHES, 1995), implantação de equipamentos urbanos e estudos sobre a equidade urbana (TALEN, 1998; TALEN & ANSELIN, 1998), equidade espacial (DOMANSKI, 1979), qualidade de vida (KRALICH, 1996; JOAQUIM, 1997; JOAQUIM, 1999), capacidade de viagem de determinado grupo (AKINYEMI, 1998a; AKINYEMI & ZUIDGEEST, 1998), acesso ao local de trabalho (LEVINE, 1998), evolução urbana (LIMA *et al.*, 1998), verificação de consistência de redes (RAIA Jr. & SILVA, 1998; RAIA Jr. & SILVA, 1999), investimentos em transportes e macroeconomia (WEISBROD & TREYZ, 1998) etc.

O conhecimento dos dados relacionados com a acessibilidade de um território, por exemplo, constitui uma necessidade para os planejadores, geógrafos,

urbanistas etc., que precisarem conhecer o grau de proximidade e a facilidade de comunicação entre uns pontos e outros. A estimação deste parâmetro permitirá analisar as zonas cujos moradores possuam pouca mobilidade e, em conseqüência, mais necessidade de infra-estrutura ou serviços de transportes (BARTOLOME & CACERES, 1992). “Acessibilidade deveria ser um tópico central de uma medida de qualidade de vida” (HANSON, 1995, p.5).

WACHS & KOENIG (1979) reforçam a importância do assunto afirmando que o objetivo básico de todo planejador e pesquisador de transporte é a provisão, dentro de restrições apropriadas, de melhorias na acessibilidade às facilidades e serviços que as pessoas necessitam. Os indicadores de acessibilidade poderiam constituir um importante componente de planejamento e modelagem de transporte, uma vez que, acessibilidade é um dos determinantes básicos da forma urbana e porque a provisão de acessibilidade é usualmente um objetivo explícito do planejamento de transporte. Assim, um uso extremamente importante das medidas de acessibilidade seria na avaliação de alternativas de redes de transporte. Se índices de acessibilidade significativos e sensíveis fossem disponibilizados, eles poderiam ser usados em conjunto com as relações custo e volume/capacidade na determinação da performance global de projetos de sistemas de transportes. Além disso, em cidades maiores há diferenças na acessibilidade para diferentes grupos, para uma variedade de oportunidades econômicas e culturais. Melhores medidas de acessibilidade poderiam ajudar a redirecionar planejamentos e políticas para a equalização de oportunidades entre esses grupos.

Um indicador de acessibilidade (também chamado de medida) incorpora a performance de um sistema de transporte e a distribuição das atividades de uso do solo na área em estudo, ou seja, ele inclui uma medida de atratividade (benefício) de cada destino potencial e pondera cada destino pelo seu custo de viagem associado. Desde que um índice de acessibilidade é uma função dos padrões de uso do solo e performance do sistema de transporte, ele é particularmente um critério apropriado para avaliar o serviço disponibilizado pelo sistema de transporte. Um indicador pode

também refletir o custo global de alcançar os locais de trabalho, *shopping centers*, oportunidades de lazer ou sociais (LEE & GOULIAS, 1997).

Diante da significância do conceito de acessibilidade defendida por WACHS & KOENIG (1979), eles ainda apresentam alguns questionamentos para elucidar a importância social do conceito: cidadãos de um determinado bairro têm tanto acesso às oportunidades de emprego quanto os residentes de outra área? As pessoas que não possuem automóvel têm suficiente acesso às oportunidades de lazer ou de saúde quando comparados com os proprietários de automóvel? Os idosos têm acesso aos serviços sociais essenciais para a sua qualidade de vida?

Uma primeira aplicação dos indicadores de acessibilidade seria na avaliação de alternativas de configuração de sistema de transporte, alternativas de localização de facilidades e alternativas para o atendimento de necessidades sociais de grupos particulares. (WACHS & KOENIG, 1979).

Mesmo dentro de uma mesma área, neste caso os transportes, as definições do conceito de acessibilidade podem variar significativamente, apresentando desde aplicações puramente teóricas a aplicações extremamente práticas, e serão detalhadas a seguir.

## **2.2 Definições sobre acessibilidade e o seu estado da arte**

Apesar do conceito de acessibilidade não ser de fácil definição em termos não ambíguos e quantificáveis (VICKERMAN, 1974), muitas são as definições de acessibilidade e de seus indicadores, fundamentadas em diferentes teorias.

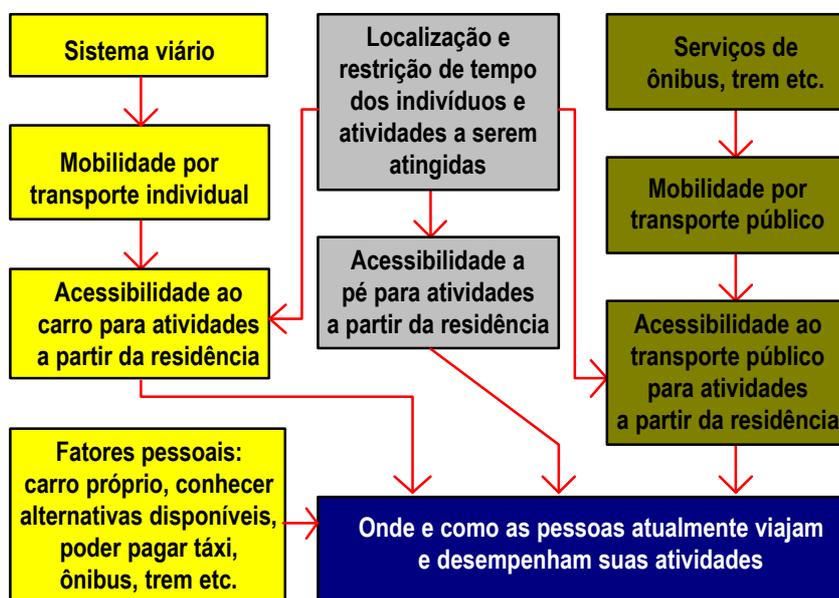
Um visão bastante simples de acessibilidade ao transporte coletivo é aquela apresentada por FERRAZ (1999), ou seja, a acessibilidade está relacionada com a distância que os usuários necessitam caminhar para utilizar o transporte na realização de uma viagem, compreendendo à distância da origem da viagem até o local de embarque e do local de embarque até o destino final.

Os termos *acessibilidade* e *mobilidade* são objetos de consideráveis confusões. Em vista disso, JONES (1981) fornece definições que procuram esclarecer essas diferenças, e que serão apresentadas a seguir:

- **Acessibilidade** está relacionada com a oportunidade que um indivíduo, em um dado local, possui para tomar parte em uma atividade particular ou uma série de atividades. Ela está relacionada à mobilidade do indivíduo ou tipo de pessoa, à localização espacial de oportunidades relativas ao ponto de partida do indivíduo, às vezes em que o indivíduo está disponível para participar das atividades e, às vezes em que as atividades estão disponíveis (ver Figura 2.1). Assim, acessibilidade está relacionada não com o comportamento propriamente dito, mas com a oportunidade ou potencial, disponibilizados pelo sistema de transporte e uso do solo, para que diferentes tipos de pessoas desenvolvam suas atividades.
- **Mobilidade** é a capacidade de um indivíduo ou tipo de pessoa de se deslocar. Isto envolve dois componentes: o *primeiro*, depende da performance do sistema de transporte, e que é afetado por onde a pessoa está, da hora do dia e a direção na qual se deseja deslocar; o *segundo* componente depende das características do indivíduo, tais como se ele tem carro próprio, disponibilidade de pagar táxi, ônibus, trem ou avião; se tem a possibilidade de caminhar ou usar o transporte público e mesmo se tem conhecimento das opções disponíveis para ele. Em outras palavras, o *primeiro* elemento está relacionado com a efetividade do sistema de transporte em conectar localidades espacialmente separadas, e o *segundo* elemento está associado com “até que ponto” um determinado indivíduo ou tipo de pessoa é capaz de fazer uso do sistema de transporte.

Para uma maior compreensão das diferença entre esses dois conceitos, um exemplo prático pode ser elucidativo. Em um determinado bairro, devidamente planejado, existem diferentes atividades, tais como: padaria, mercearia, banco, correio, igrejas, lojas de calçados e confecções etc. Alguém, que pode andar com

facilidade, tem excelente acessibilidade aos bens e serviços, pois o acesso depende mais da mobilidade do pedestre. No entanto, para que os moradores deste bairro possam assistir a uma partida de futebol, que se realiza em um bairro distante, eles necessitam, por exemplo, ter acessibilidade ao sistema de transporte coletivo por ônibus e ter mobilidade para usá-lo. Se uma pessoa possui deficiência física, muitas vezes, não pode tomar o ônibus, pois ela não tem mobilidade, embora tenha acessibilidade ao transporte coletivo.



**Figura 2.1 - Relação entre mobilidade, acessibilidade e comportamento de viagens**

Fonte: adaptado de JONES (1981)

Ainda com o intuito de tornar mais clara a diferença entre esses dois conceitos chaves, SATHISAN & SRINIVASAN (1998), de maneira simples, afirmar que: acessibilidade, de maneira geral, se refere à capacidade de atingir um determinado lugar, e mobilidade está relacionada com a facilidade com que o deslocamento pode ser empreendido.

Mobilidade, tal como ocorre com o conceito de acessibilidade, possui também algumas variações em suas definições, bem como uma diversidade de

índices e aplicações. Uma abordagem mais detalhada sobre o conceito de mobilidade, seus indicadores e aplicações será apresentada no Capítulo 6.

Acessibilidade urbana tem muito mais significado para o planejamento, regional, urbano e de transporte do que apenas o uso de seus indicadores como variáveis internas de modelos de demanda ou de previsão no uso do solo, de acordo com SALES FILHO (1998). Considerando um contexto sócio-econômico urbano maior, o nível de acessibilidade disponibilizado pela interação uso do solo/transporte não somente afeta diretamente o acesso físico de pessoas para as facilidades urbanas, portanto a qualidade de vida da população, mas também outros efeitos indiretos consideráveis. Dentre essas “externalidades”, sem dúvida a mais importante está relacionada com a viabilização do *funcionamento* da cidade, com respeito ao seu maior objetivo de facilitar contatos e aproximar atividades que, por si só, torna a provisão de acessibilidade um objetivo fundamental no processo de planejamento do desenvolvimento urbano (SALES FILHO, 1998). Para ARRUDA (1999, p.141), “o conceito de acessibilidade é, em certo grau, intuitivo e de grande importância para se avaliar intervenções de transportes”.

A definição de acessibilidade, para DAVIDSON (1995), é a facilidade com que cada pessoa, em um dado ponto, pode ter acesso, via sistema de transporte (qualquer que seja o modo ou sub-sistema de transporte), a todos os outros lugares em uma área definida, levando em consideração as variações de atratividade e o custo percebido para atingí-los. Ainda de acordo com DAVIDSON (1995), uma localidade com maior acessibilidade tenderá, para muitos objetivos, a ser mais atrativa do que uma outra com menor acessibilidade e, portanto, será mais valorizada. Uma maior acessibilidade de um lugar tem um maior impacto no valor da terra (HANSON, 1995). Uma extensa pesquisa, citada por CNT (1998), mostrou que parcela significativa do valor de mercado de uma residência é o valor que os compradores de bens imóveis aparentemente colocam na acessibilidade, incluindo acessibilidade ao transporte público. Por conseguinte, a acessibilidade é um fator fundamental no planejamento urbano e de transportes.

Por outro lado, escrevem HANSON & SCHWAB (1987), está implícito no cálculo e uso de indicadores de acessibilidade a convicção de que os indivíduos com distintos níveis de acessibilidade apresentarão diferentes padrões de viagem, especialmente frequências diversas de viagem. Uma vez que os indivíduos com altos níveis de acessibilidade podem atingir muitos lugares com um custo relativamente baixo, eles farão mais viagens do que pessoas com características sócio-demográficas similares, mas com menor nível de acessibilidade.

Um trabalho interessante (STONE<sup>4</sup> apud VICKERMAN (1974) enfatizou o impacto da acessibilidade na estrutura e tamanho de áreas urbanas e, numa importância ainda maior, as implicações do custo disto para a sociedade urbana. Em último recurso, acessibilidade é um *custo* que surge para a comunidade, diretamente aos indivíduos e/ou socialmente para a comunidade como um todo, com seus subprodutos, tais como congestionamento e poluição. Cálculos de acessibilidade e a extensão para a qual ela permite o grau de mobilidade desejado pela sociedade são, portanto, importantes elementos em qualquer análise do tamanho ótimo de áreas urbanas - um assunto que de forma crescente tem chamado a atenção de técnicos nas últimas décadas (VICKERMAN, 1974).

A lógica da acessibilidade está mais associada à busca de capacidade de atingir destinos desejados do que propriamente pelo movimento em si, tal como previsto em uma já tradicional definição de acessibilidade tipificada pelo nível de serviço rodoviário. Assim, onde os destinos estão mais próximos, a acessibilidade é maior, mesmo se a velocidade de viagem é menor (LEVINE, 1998). A acessibilidade é melhor, por exemplo, quando locais de trabalho, bibliotecas e supermercados estão localizados nas proximidades das residências, e são atingíveis a pé ou por bicicleta (CTAQC, 1998).

Para HANSON (1995), existe a acessibilidade de *lugar*, isto é, a facilidade com que certos lugares podem ser atingidos e, acessibilidade de *pessoas*, quando se

---

<sup>4</sup> STONE, P.A. (1973). *Structure, size and costs of urban settlements*. London, Cambridge University Press apud VICKERMAN (1974).

raciocina em termos da facilidade com que uma pessoa ou grupo de pessoas podem atingir certos locais de atividades.

De uma forma geral, pode-se definir acessibilidade como sendo uma medida de esforço para se transpor uma separação espacial, caracterizada pelas oportunidades apresentadas ao indivíduo ou grupo de indivíduos, para que possam exercer suas atividades, tomando parte do sistema de transporte. A acessibilidade torna possível o acesso dos indivíduos aos locais de empregos, lazer, estudo, equipamentos públicos etc., e é função tanto do uso do solo quanto das características do sistema de transporte (RAIA Jr. *et al.*, 1997)

Dentro de um contexto amplo, acessibilidade se refere à facilidade de movimento entre lugares. Na medida em que o movimento se torna menos caro (em termos de tempo ou dinheiro) entre dois locais, cresce a acessibilidade. A propensão de interação entre dois lugares cresce na medida em que o custo de movimentação entre eles diminui. Conseqüentemente, a estrutura e capacidade da rede de transporte afeta o nível de acessibilidade dentro de uma determinada área.

A acessibilidade também inclui o conceito de atratividade, ou seja, as oportunidades ou atratividades localizadas em um dado lugar. Assim, a facilidade de movimentação entre lugares, tanto quanto a atratividade desses lugares (origem ou destino) está expressa na acessibilidade. Mais especificamente, pode-se definir acessibilidade como a atratividade de um lugar com uma origem e com um destino. Nota-se que essas duas medidas não são simétricas. No primeiro caso, a ênfase está no acesso à oportunidades localizadas em outro local; no segundo, a ênfase está nas oportunidades situadas no próprio local (GIULIANO, 1995).

O trabalho de HOGGART (1973) é muito interessante não somente por causa da definição geral de acessibilidade apresentada, como também pela abrangente revisão sobre o assunto, até 1973. Depois da revisão de Hoggart, decorridos um quarto de século, o assunto ainda permanece na literatura, tal como anteriormente. No entanto, alguns dos artigos revistos daquele período são ainda importantes,

porque dispõem de várias medidas, definições e usos de acessibilidade de transporte ainda pertinentes.

Dos anos setenta vem o trabalho de INGRAM (1971), cuja definição de acessibilidade é certamente uma das referências mais citadas sobre o assunto nas últimas duas décadas. Ele estabeleceu que acessibilidade pode ser definida como uma característica inerente (ou desvantagem) de um lugar com respeito à superação de alguma forma de separação espacial (por exemplo, tempo e/ou distância). INGRAM (1971) também estabeleceu a distinção entre a acessibilidade *relativa* e a *integral*:

- **Acessibilidade relativa** é a medida com que dois pontos estão conectados numa mesma superfície, e
- **Acessibilidade integral** é a medida de interconexão de um ponto com todos os outros pontos na mesma superfície.

Na verdade, o conceito de acessibilidade tem apresentado uma certa “evolução”, tendo inicialmente o conceito de proximidade física entre duas localidades (INGRAM, 1971) chegando até uma conceituação mais abrangente e complexa associando a liberdade na escolha e ação de um indivíduo no sentido de participar de atividades distintas, disponibilizadas no seu espaço comportamental, segundo o pensamento de BURNS<sup>5</sup> apud ARRUDA (1997).

A pesquisa em acessibilidade, segundo PIRIE (1981), pode ser enquadrada em três diferentes estudos relacionados aos transportes: pesquisa de comportamento de viagens, análises de transporte/uso do solo, e em estudos de políticas e bem-estar, em geral.

Embora haja uma grande quantidade de pesquisas relacionadas com medidas e aplicações de indicadores de acessibilidade, o uso deles nunca foi muito difundido. Segundo LEE & GOULIAS (1997), há duas razões para isso. Primeiramente, não há

---

<sup>5</sup> BURNS, L.D. (1979). *Transportation, temporal and spatial components of accessibility*. Toronto, Lexinton Books apud ARRUDA (1997).

nenhuma conceituação robusta sobre a noção de acessibilidade. Segundo, a aplicação de acessibilidade não foi ainda testada com rigor.

A definição e aplicação de medidas de acessibilidade convencionais devem ser descartadas, apesar de sua fácil operacionalização, se o analista de transportes requer rigor científico na sua análise, no entender de ARRUDA (1999). No entanto, esse raciocínio é aceitável para as condições existentes em países desenvolvidos, onde existe abundância de dados. Este não o caso da maioria das cidades de países em desenvolvimento.

Nos anos noventa, depois de alguns anos de atividades menos intensas, vários novos trabalhos sobre acessibilidade voltam a ser publicados, dentre outros: SHAW (1990), MILLER (1991), BARTOLOME & CACERES (1992), HANDY (1993), ALLEN *et al.* (1993), POOLER (1995), RYAN & MCNALLY (1995), GEERTMAN & VAN ECK (1995), DAVIDSON (1995), LOVE & LINDQUIST (1995), ULIED (1995), TAGORE & SIKDAR (1995), PURVIS *et al.* (1996), McQUAID (1996), EWING *et al.* (1996), MACKIEWICZ & RATAJCZAK (1996), KALSAAS & AASE (1997), SHEN (1997), HANDY & NIEMEIER (1997), NIEMEIER (1997), RAIA Jr. & SILVA (1998), SILVA *et al.* (1998), ROSADO & ULYSSÉA NETO (1999), WAERDEN *et al.* (1999), RAIA Jr. & SILVA (1999), ARRUDA (1999), dentre outros.

Os indicadores que têm sido mais freqüentemente encontrados na literatura são (WACHS & KOENIG, 1979; KOENIG, 1980):

- *Oportunidades ponderadas por uma impedância*, que é alguma aceitável função decrescente de custo de transporte ou tempo para se atingir essas oportunidades;
- *Definição isocrônica*, que é o número de oportunidades que poderiam ser atingidas dentro de um dado período de tempo.

Nesta década, apareceram de forma mais freqüente trabalhos que além de envolverem o conceito de acessibilidade, também trouxeram como novidade a utilização de uma ferramenta computacional de apoio, SIG - Sistema de Informações Geográficas. Esta tecnologia é extremamente útil, pois automatiza e melhora a

visualização de análises de acessibilidade. Dentre eles, pode-se citar: SHAW (1990), MILLER (1991), HARDCASTLE & CLEEVE (1995), GEERTMAN & VAN ECK (1995), COOK & POWER (1995), NIELSEN & JACOBSEN (1995), ULIED (1995), AUSTIN *et al.* (1996), RAIA Jr. & SILVA (1996), RAIA Jr. *et al.* (1996a), RAIA Jr. *et al.* (1996b), HAMILTON & FORD (1997), RAIA Jr. *et al.* (1997), HOLM (1997), PUEBLA & AGUAYO (1997), LEE & GOULIAS (1997), SILVA *et al.* (1998), RAIA Jr. & SILVA (1998), SATHISAN & SRINIVASAN (1998), GUTIÉRREZ & MONZÓN (1998), RAIA Jr. & SILVA (1999) e ROSADO & ULYSSÉA NETO (1999).

Apesar dos estudos aqui citados terem diferentes formas de abordagem, um dos aspectos mais importantes de todos estes trabalhos é o modo com que eles mediram acessibilidade, que variou significativamente. Alguns trabalhos adotaram medidas muito simples, tais como a usada por LOVE & LINDQUIST (1995). Medidas de acessibilidade simples são freqüentes na literatura geográfica médica, enquanto alguns autores trabalharam com conceitos mais sofisticados, reconstruindo antigas idéias, tal como ALLEN *et al.* (1993), que basearam seu trabalho em INGRAM (1971); e outros (GEERTMAN & VAN ECK, 1995). Este é também o caso de DAVIDSON (1995), que rescreveu seu próprio conceito de acessibilidade (DAVIDSON, 1977) de uma forma particular, agora denominada *isolamento*.

Como nem a *acessibilidade relativa*, nem a *acessibilidade integral* foram capazes de colher o nível de acesso global de uma área ou serem comparáveis entre áreas, ALLEN *et al.* (1993) propuseram uma extensão do trabalho de INGRAM (1971). Seu novo *indicador E* é definido como o indicador de acessibilidade global de uma área, e é uma dupla integração normalizada da acessibilidade relativa. A particularidade de ambos os indicadores de INGRAM (1971) e a medida proposta por ALLEN *et al.* (1993) é que ambos definem acessibilidade somente como uma medida de esforço para superar a separação espacial entre dois pontos dentro de uma área. Eles tampouco consideram características de demanda-oferta como aspectos comportamentais em seus modelos. Deste modo, elas são medidas simples de acessibilidade, uma vez que não necessitam de muitos dados.

POOLER (1995) tece críticas à simplicidade do trabalho de ALLEN *et al.* (1993). No entanto, RAIA Jr. *et al.* (1997), fizeram uma comparação entre o indicador (mais simples) proposto por ALLEN *et al.* (1993) e aquele proposto por DAVIDSON (1995) - mais complexo -, concluindo que o índice de ALLEN apresentou resultados muito próximos aos de DAVIDSON, em termos de classificação dos níveis de acessibilidade, em uma aplicação para uma cidade média brasileira.

WAERDEN *et al.* (1999) testaram empiricamente a relação funcional entre duas medidas de acessibilidade, a MSI (Mean Separation Index) de ALLEN *et al.* (1993) e GTI (Gravity Type Index) de DAVIDSON (1977) e uma avaliação subjetiva de acessibilidade para cerca de 8.000 residências na cidade de Eindhoven (Holanda). O estudo apresentou uma correlação muito baixa entre as medidas definidas e os escores de avaliação dos residentes. Concluem WAERDEN *et al.* (1999) que, se as medidas citadas no trabalho vierem a ser usadas em planejamento para implicações que induzem o comportamento das pessoas, elas precisariam ser necessariamente validadas.

Para VICKERMAN (1974), acessibilidade envolve a combinação de dois elementos: localização relativa em uma superfície de destinos possíveis, e características da rede de transporte ou rede de links unindo pontos naquela superfície. TAGORE & SIKDAR (1995), definem de forma um pouco diferente da anterior, como sendo três os componentes de uma medida de acessibilidade: a localização e características da população residente; distribuição geográfica e intensidade de atividades econômicas, e características do sistema de transporte existente.

O conceito de acessibilidade tem sido muito usado para se avaliar o nível de conexão das diversas regiões que compõem a Comunidade Européia-CE às redes de transportes e os seus níveis de serviço existentes, os quais permitem analisar de maneira objetiva a contribuição dos sistemas de transportes ao potencial de desenvolvimento daquelas regiões. A finalidade dos indicadores de acessibilidade é, sobretudo, a de constituir um importante instrumento da nova política de coesão

econômica e social da CE (BARTOLOME & CACERES, 1992). Outros estudos têm sido desenvolvidos tendo como objeto a acessibilidade nos países e entre os países que compõem a CE, dentre eles pode-se citar: CALVET (1996), BELTRÁN (1996), VICENTE (1996), ABANDO & ORTIZ (1996), LLORÉNS (1996) e MELIÇO (1996).

Indicadores de acessibilidade podem constituir um importante ingrediente de informações sociais, e também podem ajudar a redirecionar políticas de transportes para traçados mais consistentes com objetivos nacionais, regionais e locais para a provisão de equidade de oportunidades (WACHS & KUMAGAI, 1973).

A proliferação na quantidade de indicadores de acessibilidade torna evidente a falta de uma metodologia que venha a atender às todas as necessidades, segundo BARTOLOME & CACERES (1992). Isto pode ser compreensível, pois a diversidade de aplicações revela também a versatilidade que o conceito acessibilidade possui para responder às mais variadas exigências dos estudos.

Na seção seguinte serão descritos alguns estudos que relacionam acessibilidade e vários aspectos do comportamento do cidadão.

### **2.3 Relação entre acessibilidade e comportamento humano**

Esta seção descreve o resultado de alguns estudos que têm procurado relações entre acessibilidade e os mais variados aspectos que envolvem o comportamento das pessoas. Essas relações são indiretas, uma vez que acessibilidade, como mostrado anteriormente, relaciona-se mais com as oportunidades para se alcançar e tomar parte de atividades do que propriamente com o comportamento humano. Porém, se não houvesse nenhuma relação entre acessibilidade e comportamento, o seu valor como uma ferramenta de planejamento seria limitado. A relação entre acessibilidade, comportamento de viagens e participação nas atividades está apresentada na Figura 2.1. Acessibilidade é, portanto, apenas um dos fatores envolvidos na escolha de uma pessoa por um determinado tipo de comportamento.

Acessibilidade, de alguma forma, tem sido apresentada como sendo um fator que afeta, segundo JONES (1981), a taxa de viagens e a taxa de participação em atividades, comprimento de viagens, propriedade de automóveis, a escolha e a satisfação com a localização residencial, e a taxa de desenvolvimento do solo para motivos residenciais.

### 2.3.1 Padrão de viagens

O padrão de viagens foi dividido por JONES (1981), em dois aspectos fundamentais, taxas de viagens e comprimento das viagens:

- a) **Taxas de viagens** - algumas evidências existem na variação nas diversas taxas de viagens devido à acessibilidade, nas taxas pelos vários modais e nas taxas para várias intenções de viagem. Várias fontes sugerem que, quando a acessibilidade para compras e negócios cresce, a taxa geral para essas atividades aumenta, o número de viagens a pé aumenta, o número de viagens por transporte público cai e o número de viagens por automóvel inicialmente cresce para depois declinar para o nível original. Um trabalho desenvolvido na Irlanda encontrou que o número de viagens de mulheres com motivos de trabalho e compras cresceu na medida que a acessibilidade para essas atividades também aumentou. Evidências de que a acessibilidade para facilidades de compras e lazer afeta o número de viagens feitas para essas intenções foram obtidas em outro estudo. Num terceiro trabalho, encontrou-se que a frequência no uso de facilidades de esportes diminuiu rapidamente com a distância, e que as distâncias percorridas pelos usuários de facilidades de esportes dependem das características dos usuários, tais como: idade, carro próprio e modo utilizado.
- b) **Comprimento de viagens** - Em um estudo realizado na Austrália, obteve-se que para muitas intenções de viagem (escola, compras, lazer, recreação, negócios etc.) as pessoas fazem viagens mais curtas (em distância e tempo)

quando suas acessibilidades aumentam; isto sugere que, em geral, elas escolhem as facilidades disponíveis mais próximas. Para as viagens de trabalho, não ocorreu bem dessa forma, no entanto, alta acessibilidade para trabalho reduziu a proporção de viagens muito longas.

### **2.3.2 Propriedade de automóveis**

Diversos autores têm considerado a relação da acessibilidade de uma determinada área com o nível de propriedade de automóveis pelos habitantes dessa área. Em determinado estudo foi encontrada uma correlação significativa entre acessibilidade para emprego por transporte público e número de pessoas que têm carro próprio. Em outro, forte correlação entre propriedade de automóveis e a relação acessibilidade de emprego por transporte público/transporte privado.

### **2.3.3 Localização residencial**

Parece que o acesso a algumas atividades pode ser um fator limitante muito importante na escolha pessoal na localização de sua residência e isto pode também afetar a sua satisfação. Porém, uma boa acessibilidade é possível de ser sacrificada para se obter outros atributos considerados importantes na escolha do local de moradia.

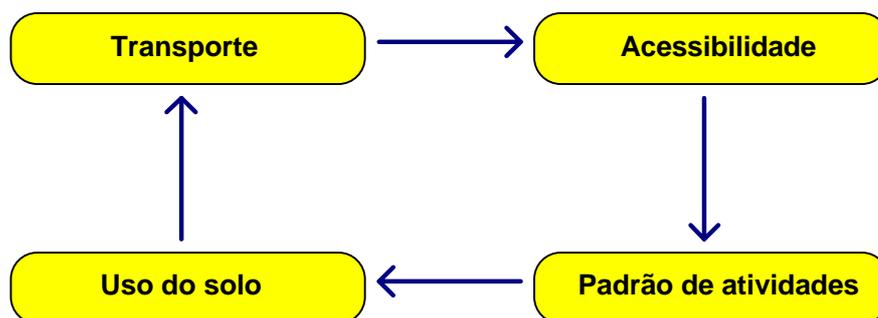
### **2.3.4 Desenvolvimento da região residencial**

A relação entre taxa de desenvolvimento da região residencial e o acesso para emprego, população e compras foi investigada por HANSEN (1959). A taxa de desenvolvimento residencial foi medida pelo número de lotes que foram ocupados em uma determinada região, ao final de um período de 7 anos. Uma boa correlação foi obtida entre o desenvolvimento e medidas de acessibilidade para emprego e população.

## 2.4 Relação entre acessibilidade e uso do solo

O conceito básico subjacente na relação entre uso do solo e transporte é a acessibilidade. Num contexto mais amplo, a acessibilidade está relacionada à facilidade de movimento entre lugares. Se o movimento se tornar menos oneroso – em termos de dinheiro ou tempo – entre dois pontos, aumenta-se a acessibilidade. A propensão para interação entre dois lugares cresce com a queda do custo do deslocamento entre eles.

É difícil, para GIULIANO (1995), examinar o impacto no uso do solo provocado pelo transporte, porque uso do solo e transporte são mutuamente dependentes. As características do sistema de transporte determinam a acessibilidade, ou a facilidade de deslocamento entre um lugar e outro. A acessibilidade, por sua vez, afeta a localização de atividades ou o padrão de uso do solo. A localização de atividades no espaço afeta os padrões de atividades diárias, que, por outro lado, resulta em padrões de viagens. Esses padrões de viagem, expressos como fluxos na rede de transporte, afetam o sistema de transporte. A Figura 2.2 mostra que uma mudança no uso do solo afetará o transporte tal como o transporte afetará o uso do solo. Deve ficar claro que a Figura 2.2 não expressa a intensidade dessas relações, apenas serve para ilustrar a interdependência de mudanças no uso do solo e transporte empiricamente observadas.



**Figura 2.2 - Relação entre acessibilidade, transporte e uso do solo**

Fonte: adaptado de GIULIANO (1995)

A vantagem de se incluir o conceito de acessibilidade no planejamento de transporte e uso do solo é dupla, segundo JONES (1981). *Primeiro*, porque permite o reconhecimento da inter-relação do transporte com o uso do solo. Assim, de um lado ela permite levar em conta o efeito da impedância de viagem na participação do indivíduo nas atividades, por outro lado, a acessibilidade permite que as viagens sejam tratadas como uma demanda derivada, ou seja, ela reconhece que, em geral, as pessoas viajam com o intuito de desenvolver atividades e não pela viagem em si. *Segundo*, porque ela permite considerar a variação dos tipos de pessoas, como por exemplo, suas capacidades de usar diferentes tecnologias de transporte, suas necessidades ou desejos de participar de atividades diversas, e as restrições no seus tempos.

Acessibilidade é, talvez, o conceito mais importante na definição e explicação da função e forma de uma região. Em grande parte, a acessibilidade de um local com relação a centros de atividades econômicas e sociais determina o valor do solo, o seu uso e a intensidade de desenvolvimento que deverá ocorrer. Por causa da acessibilidade há uma relação sistemática entre a distribuição espacial e intensidade do desenvolvimento, e a quantidade e qualidade de viagens dentro da região (WACHS & KUMAGAI, 1973)

No próximo capítulo estarão sendo abordadas, de maneira detalhada, algumas classificações de indicadores de acessibilidade encontradas na literatura, bem como a apresentação de uma classificação abrangente que procura enquadrar os diversos tipos de indicadores propostos por diversos autores.

### 3. INDICADORES DE ACESSIBILIDADE

*Este capítulo apresenta uma extensa revisão bibliográfica fruto de consultas a mais de uma centena de trabalhos, incluindo os mais diversos tipos e formulações de indicadores de acessibilidade utilizados em estudos de transportes, e que foram aqui classificados considerando as suas principais características.*

Muitos são os tipos e classificações de indicadores de acessibilidade disponibilizadas em diversos estudos por distintos autores; similarmente à definição de acessibilidade, os indicadores numéricos diferem amplamente na literatura (LEE & GOULIAS, 1997). Algumas classificações, consideradas mais interessantes, serão aqui apresentadas.

Para LEE & GOULIAS (1997), as formulações de indicadores mais utilizados na literatura poderiam ser classificadas em três grandes grupos: i) simples medidas de separação, ii) medidas do tipo gravitacional, e iii) medidas isocrônicas.

Os diferentes tipos de indicadores de acessibilidade poderiam ser agrupados da seguinte forma, de acordo com GIANNOPOULOS & BOULOUGARIS (1989):

- a) **indicadores de separação espacial** - refletem características de separação espacial de uma rede de transportes, tais como: distância, custo, custo generalizado etc.;
- b) **indicadores de oportunidade** - são diretamente relacionados aos bem conhecidos *modelos de oportunidade* e refletem o número de atividades (ou oportunidades) que podem ser atingidas a partir de um ponto de origem dentro de um certo tempo limite;

- c) **indicadores do tipo gravitacional** - são muito conhecidos e largamente utilizados em planejamento de transportes, e são derivados do modelo gravitacional;
- d) **indicadores do tipo engenharia de tráfego** - a principal diferença dos indicadores desta categoria para os das outras três mencionadas anteriormente, é que eles são mais propriamente relacionados com o tráfego veicular do que com o movimento de pessoas. Estes indicadores explicam a facilidade de movimentação de um veículo de um ponto a outro em uma área urbana; e
- e) **indicadores baseados em abordagem desagregada/comportamental** - se referem a abordagens inicialmente sugeridas por BEN-AKIVA & LERMAN (1979). Eles consideram que há algumas opções disponíveis para um indivíduo, pela definição mutuamente exclusiva e uma e somente uma opção pode ser escolhida em uma única decisão. Também assumem que cada alternativa disponível tem uma *utilidade* e que o indivíduo seleciona a opção que maximiza aquela utilidade.

Uma outra classificação interessante de indicadores de acessibilidade foi feita por MORRIS *et al.* (1979), que estende os conceitos de acessibilidade relativa e integral. Eles promovem a divisão de indicadores de acessibilidade em dois:

- a) **indicadores de processo** - são medidas de características de oferta do sistema e/ou indivíduo, e
- b) **indicadores de produto** - estão relacionados ao uso atual e níveis de satisfação.

Os trabalhos de ARRUDA (1997) e ARRUDA (1999) sugerem que os indicadores de acessibilidade poderiam ser classificados em dois grandes grupos:

- a) **medidas agregadas** - se relacionam essencialmente a um espaço físico, não envolvendo qualquer referência ao indivíduo, e

**b) medidas desagregadas** - estão relacionados ao espaço comportamental do indivíduo e, por isso, são mais adequadas para refletir o comportamento do indivíduo no seu ambiente. No entanto, são mais difíceis de operacionalizar.

Além desses dois grandes grupos de indicadores, BARTOLOME & CACERES (1992) acrescentaram um terceiro, denominado de medidas topológicas, bastante simples, levando em consideração tão somente a rede de transporte da zona em estudo.

Assim como existe uma grande quantidade de indicadores de acessibilidade propostos na literatura, grande também é o empenho dos pesquisadores em apresentar diferentes classificações ou agrupamento de indicadores de acessibilidade, e com abordagens das mais diversas.

### **3.1 Classificação de indicadores: uma proposta abrangente**

Não é fácil elaborar uma classificação geral dos tipos de indicadores, uma vez que os indicadores participam, muitas vezes, das propriedades comuns a vários tipos de medidas de acessibilidade (BARTOLOME & CACERES, 1992). Ainda assim, uma classificação bastante ampla e detalhada dos indicadores de acessibilidade será apresentada a seguir, amalgamada a partir de classificações de diversos autores, tais como VICKERMAN (1974), MORRIS *et al.* (1979), RICHARDSON & YOUNG (1982), JONES (1981), GIANNOPOULOS & BOULOUGARIS (1989), BARTOLOME & CACERES (1992), SALES FILHO (1997), SALES FILHO (1998), de JOAQUIM (1999), que apresentou uma classificação elaborada a partir daquela de JONES (1981) e ARRUDA (1999).

#### **3.1.1 Indicadores do tipo atributos de redes**

Esta primeira categoria de indicadores está relacionada com a separação espacial de pontos ou com a ligação entre pontos como resultado de suas localizações relativas na rede. Indicadores de rede estão associados somente com a rede de

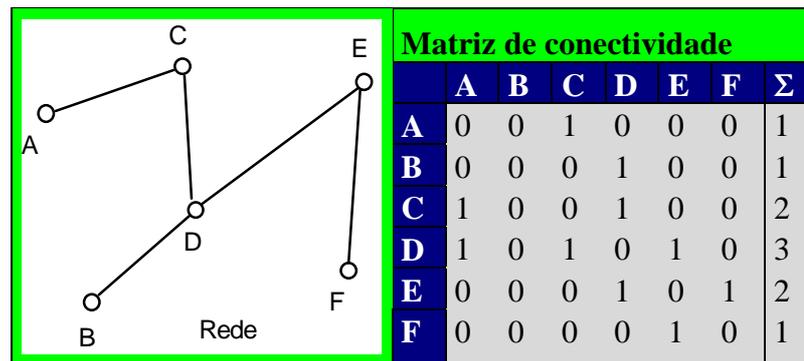
transporte e seus atributos e baseados na Teoria dos Grafos; são compostos por *links* e nós. Os nós têm o significado de pontos ou locais de interesse, enquanto que os arcos representam as ligações entre nós. JANUÁRIO (1995) e JANUÁRIO & CAMPOS (1996), embora tivessem proposto um indicador de acessibilidade baseado na Teoria dos Grafos, incorporaram outros parâmetros adicionais, que serão detalhados mais adiante. O trabalho de TAAFFE & GAUTHIER (1973) faz um exame detalhado da Teoria dos Grafos, incluindo uma explanação da *técnica de valor do grafo* de medida de acessibilidade.

Os indicadores de redes podem ser desmembrados em outros dois: indicadores simples ou topológicos e indicadores de espaçamento.

### 3.1.1.1 Indicadores do tipo simples ou topológico

Indicadores topológicos simplesmente estabelecem se dois pontos no espaço estão fisicamente conectados por um sistema de transporte, permitindo o deslocamento entre eles (RICHARDSON & YOUNG, 1982). A rede é normalmente descrita como sendo composta de *links* que se encontram nos *nós*. Várias propriedades de redes têm sido propostas como indicadores de acessibilidade, sendo aqui apresentadas três delas: conectividade do nó, número de nós atingíveis e indicador do tipo Shimbel.

- a) **Conectividade do nó** - a medida mais primitiva de acessibilidade é obtida diretamente da matriz de conectividade. A somatória individual de linhas produz uma coluna de valores. O valor da soma de cada linha é igual ao número total de *links* diretos de um dado centro (nó) para um conjunto de todos os outros centros na rede (TAAFFE & GAUTHIER, 1973). No caso do exemplo da Figura 3.1, o nó D é aquele que tem maior acessibilidade, pois é conectado diretamente a 3 outros nós; por sua vez, os nós A, B e F, são aqueles que têm menor acessibilidade, pois cada um deles é conectado diretamente a somente 1 nó. Aqui poderiam ser enquadrados os trabalhos de VICKERMAN (1974), MACKIEWICZ & RATAJCZAK (1996).



**Figura 3.1 - Rede hipotética e sua matriz de conectividade**

Dois indicadores, de *acessibilidade temporal* e *acessibilidade legal*, podem ser considerados como derivados do indicador de acessibilidade medido pela conectividade do nó. O indicador de *acessibilidade temporal* considera a situação onde não se tem acessibilidade por um modal, em determinados períodos, como por exemplo, o caso dos ônibus, que em determinadas horas do dia (principalmente durante a madrugada) e em diferentes dias da semana (sábado e domingo, por exemplo) não circulam em determinadas cidades ou bairros. Esta ausência de acessibilidade não ocorreria pelo modal automóvel (RICHARDSON & YOUNG, 1982). O indicador de *acessibilidade legal* seria usado no caso onde ocorrem situações de restrição de ordem legal ou de regulamentação (RICHARDSON & YOUNG, 1982). Um exemplo seria o caso do rodízio implantando pela Prefeitura de São Paulo, onde os automóveis não têm acesso ao centro expandido da cidade, em determinados horários, sendo permitido, no entanto, pelo modo ônibus.

- b) **Número de nós atingíveis a partir de um dado nó** - dentro de um dado tempo de viagem na rede (LAARMAN<sup>6</sup> apud JONES, 1981).
- c) **Indicador de Shimbel** - considera o custo de viagem de um determinado nó para todos os outros nós, tal como nos trabalhos de SHIMBEL (1953),

<sup>6</sup> LAARMAN, F. (1974). Accessibility in urban areas. *Urbanisme*. n.34, v.5. p.36-39 apud JONES (1981).

MURACO<sup>7</sup> apud JONES (1981) e GIULIANO (1995). A formulação de SHIMBEL (1953), segundo POOLER (1995, p.423) “representa a simples soma das distâncias e é descrita normalmente como uma medida de densidade de um grafo” e foi denotada da seguinte forma:

$$A_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n d_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.1)$$

onde  $A_i$  é a acessibilidade do nó  $i$ ,  $\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n$  indica a somatória de todos os nós da rede e  $d_{ij}$  é o custo de viagem do nó  $i$  ao nó  $j$  (normalmente medido pelo número de links ou mínima distância entre os nós).

SHIMBEL (1953), com o intuito de medir a acessibilidade global do grafo ou rede, propôs outra medida elementar, a partir de (3.1), ou seja:

$$A = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n d_{ij} \quad \text{onde } i = 1, 2, \dots, n. \quad \text{e } j = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

onde  $A$  é a acessibilidade global da rede.

Há que se registrar a crítica feita por STEGMAN (1969) para o uso de indicadores simplificados de acessibilidade em alguns modelos de localização residencial. Para o autor, a decisão de localização residencial é influenciada por vários outros fatores.

Um indicador de acessibilidade - ICON - baseado no conceito de conectividade foi apresentado por ULIED (1995) e ULIED & ESQUIUS (1996), que o apontam como o mais apropriado para a avaliação de acessibilidade em redes de transporte. Com o intuito de facilitar o uso do indicador, foi desenvolvido um

---

<sup>7</sup> MURACO, W.A. (1972). Intra-urban accessibility. *Economic Geography*. n.48, p.388-405 apud JONES (1981).

*software* em ambiente GIS – Sistema de Informações Geográficas. O indicador prevê que para um determinado ponto  $i$ , a sua conectividade ao sistema de transporte é dada considerando a ponderação de cada modo e o tempo mínimo (ou custo) necessário para atingir o nó mais próximo em cada rede, acrescido do tempo generalizado adicional de espera em cada nó para se obter um pré-determinado nível de serviço e pela demora não prevista, descontinuidades ou *gaps* durante a viagem.

O indicador *Integral Transport Accessibility* - *ITA* foi proposto por BOUGROMENKO (1998) para medir a acessibilidade de um ponto a outro, dentro dos limites de um território. Pode ser medido pela média ponderada do tempo gasto para uma região ou pelo tempo gasto para um ponto. A fórmula para um ponto separado é:

$$ITA_i = \frac{S_i \cdot (1 + K_i) \cdot (1 - T_i)}{V_n} \quad (3.3)$$

onde  $ITA_i$  é a acessibilidade integral de transporte;  $S_i$  é a rota mais curta de um dado ponto a outros pontos;  $K_i$  é o coeficiente de variação das menores rotas de um dado ponto;  $T_i$  é o coeficiente da rede para o ponto;  $V_n$ , a velocidade padronizada na rota mais curta. A formulação para uma região, por outro lado, é dada por:

$$ITA_o = \frac{(ITA_i \cdot P_i)}{P} \quad (3.4)$$

onde  $P_i$  é o “peso” de cada ponto e  $P$  é o “peso total”. Esse indicador é medido em horas necessárias para ir de um ponto a algum outro ponto, na média. Para pequenas regiões as medidas de AIT são poucos variáveis; para grandes áreas, é muito variável.

GUTIÉRREZ & MONZÓN (1998) formularam um indicador que sintetiza um único valor das condições de acessibilidade de cada nó em termos de eficiência da rede, enfatizando o efeito da infra-estrutura. A representação matemática do indicador é dada por:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{N_{ij}}{E_{ij}} M_j}{\sum_{j=1}^n M_j} \quad (3.5)$$

onde  $A_i$  é a acessibilidade do nó  $i$ ;  $N_{ij}$  é a impedância da rede entre o nó  $i$  o centro de atividades de destino  $j$ ;  $E_{ij}$  é a impedância Euclidiana entre  $i$  e  $j$ , assumindo infraestrutura de eficiência ótima, e  $M_j$  é a massa do centro econômico de destino.

O indicador proposto por GUTIÉRREZ & MONZÓN (1998) oferece um valor em unidade significativa, ou seja, o quanto a impedância da rede sobrepõe a impedância Euclideana. Os resultados são interpretados em escala inversa, ou seja, o menor valor obtido corresponde ao local mais acessível em termos relativos, e vice-versa. Quando a infra-estrutura que conecta os nós para vários centros de atividades econômicas é eficiente, os nós recebem um valor de acessibilidade que se aproxima de 1. Um valor igual a 2, por exemplo, significa que a impedância da rede é o dobro da impedância Euclideana.

ABANDO & ORTIZ (1996) fazem críticas aos indicadores que utilizam somente parâmetros tais como conectividades físicas ou topográficas e não as funcionais, já que não consideram a importância de cada núcleo ou zona. Assim, propõem indicadores que podem levar em conta parâmetros como distância, tempo ou custo generalizado. A formulação matemática do modelo foi assim definida:

$$A_i^d = \frac{\sum_j P_j d_{ij}^r}{\sum_j P_j d_{ij}^f} \quad (3.6)$$

onde  $A_i^d$  é medida de acessibilidade em distância;  $P_j$ , a população da zona  $j$ ;  $d_{ij}^r$  é a distância entre  $i$  e  $j$  pelo caminho de menor tempo, e  $d_{ij}^f$ , é a distância em linha

reta entre  $i$  e  $j$ . Expressões semelhantes à apresentada acima podem ser aplicadas para o cálculo da acessibilidade em tempo e em custo generalizado.

WACHS & KUMAGAI (1973) citam o modelo de acessibilidade física utilizado na cidade de Los Angeles, na década de 60, que considerava a soma ponderada do número de oportunidades de empregos existentes dentro de um certo tempo de viagem a partir de uma determinada zona, sendo que os empregos incluídos são determinados por categorias de rendas e classes de empregos. A sua formulação foi dada por:

$$AI(T)_i = \frac{1}{100} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K P_{ijk} E(T)_{ijk} \quad (3.7)$$

sendo  $AI(T)_i$  o índice de acessibilidade para a zona  $i$  usando o tempo de viagem  $T$  em minutos;  $j$  é a categoria de renda, variando de 1, 2, ...,  $J$ ;  $k$  é a categoria de ocupação ou classe de trabalho, variando de 1, 2, ...,  $K$ ;  $P_{ijk}$ , a proporção da força de trabalho da zona  $i$  e a categoria de ocupação  $k$ ;  $E(T)_{ijk}$  representa as oportunidades de emprego (em centenas) na categoria de renda  $j$  e categoria de ocupação  $k$  dentro da faixa  $T$  minutos de viagem da zona  $i$ ; e  $1/100$  é um fator de escala.

LINDEMANN *et al.* (1998) desenvolveram um indicador que levou em conta os parâmetros tempo de viagem, número de rotas e capacidade destas rotas, considerando automóveis particulares. Este indicador passou posteriormente a compor um *Índice de Desenvolvimento* de uma região, que considerou, além da própria acessibilidade, a quantidade de área livre desta região como potencialidade para o seu desenvolvimento. O índice tem a seguinte formulação matemática:

$$A_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^n c_{ijn}}{1000} \times \left( \frac{\sum_{n=1}^n t_{ijn}}{n} \right) \quad (3.8)$$

sendo  $A_{ij}$  a acessibilidade entre as regiões  $i$  e  $j$ ;  $c_{ijn}$  é a capacidade média da rota  $n$  entre  $i$  e  $j$ ;  $n$  o número de rotas; e  $t_{ijn}$  é o tempo médio de viagem entre  $i$  e  $j$  na rota  $n$ .

De uma forma geral, os indicadores do tipo *simples* ou *topológicos* “têm sido pouco usados na literatura” (ARRUDA, 1999, p. 145).

### 3.1.1.2 Indicadores do tipo separação espacial

Este grupo de indicadores é composto particularmente pela medida de acessibilidade de INGRAM (1971), que generalizou a medida de SHIMBEL (1953), propondo que a simples medida de distância entre pontos seja substituída por uma função impedância de forma curvilínea, baseada na curva normal ou em uma forma modificada da função Gaussiana. Ingram dividiu a área em estudo em zonas, calculando a acessibilidade para cada zona. Ingram propôs a medida de acessibilidade integral - grau de interconexão de um pontos com todos os outros - tendo a seguinte forma:

$$A_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad \text{onde } a_{ij} = f(C_{ij}) \quad (3.9)$$

sendo  $A_i$  a acessibilidade integral da  $i$ -ésima zona,  $a_{ij}$  é a acessibilidade relativa da zona  $i$  em relação a  $j$ ;  $f( )$  alguma função que representa o efeito da impedância no custo de viagem;  $C_{ij}$  é o custo de viagem da zona  $i$  para a zona  $j$ , e  $\sum_j$  representa a soma de todas as zonas da área em estudo.

INGRAM (1971) ainda propôs um indicador baseado na distância média de cada ponto em relação a todos os outros, sendo definido por:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij}}{n} \quad (3.10)$$

onde  $d_{ij}$  é a distância em linha reta entre os pontos  $i$  e  $j$ , e  $n$  é o número de pontos considerados.

ALLEN *et al.* (1993) criaram um indicador que considera o *nível de acessibilidade global* de uma área, formulado como sendo uma extensão natural das acessibilidades relativa e integral de INGRAM (1971). Este indicador permite uma comparação dos níveis de acessibilidade entre regiões. É formulado da seguinte maneira:

$$A_i' = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n T_{ij} \quad (3.11)$$

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i' = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n T_{ij} \quad (3.12)$$

onde  $A_i'$  é a acessibilidade integral normalizada;  $T_{ij}$  é o tempo médio entre os locais  $i$  e  $j$ ;  $n$  é o número de locais, e  $E$  é o indicador de acessibilidade global.

As medidas do tipo separação espacial, segundo SALES FILHO (1998), apresentam como vantagem o aspecto da simplicidade, isto é, utilizam poucos dados e são mais precisas no cálculo da impedância; como limitação é apontada a ausência da distribuição espacial de atividades.

### 3.1.2 Indicadores do tipo quantidade de viagens

Os dois indicadores descritos a seguir estão proximamente relacionados e levam em conta a medição de viagens, isto é, estão associados com aspectos de comportamento de viagem. O primeiro indicador reflete as viagens observadas, e o segundo, as viagens previstas.

O custo médio de viagens observadas saindo de uma zona, é o *primeiro tipo* de indicador deste grupo, e pode ser considerado como um índice de *inacessibilidade* (DOTE<sup>8</sup> e SAVIGEAR<sup>9</sup> apud JONES, 1981), assim definido:

$$I_i = \frac{\sum_j C_{ij} V_{ij}}{\sum_j V_{ij}} \quad (3.13)$$

onde  $I_i$  é a inacessibilidade da zona  $i$ ,  $V_{ij}$  é o número de viagens da zona  $i$  para a zona  $j$  e  $C_{ij}$  representa o custo de viagem da zona  $i$  para a  $j$ .

O *segundo tipo* de indicador, que considera a probabilidade de uma viagem ocorrer entre cada par de zonas, também chama esta medida de *inacessibilidade* (ZAKARIA, 1974), sendo formulada da seguinte forma:

$$I_i = \sum_j P_{ij} C_{ij} \quad (3.14)$$

sendo  $P_{ij}$  a probabilidade de uma viagem ser feita da zona  $i$  para a zona  $j$ . Sugere JONES (1981), que a probabilidade seja calculada usando o modelo gravitacional ou modelo de oportunidades intervenientes.

DOGSON<sup>10</sup> apud LINNEKER & SPENCE (1992) propôs um indicador de acessibilidade que leva em consideração os custos de transportes de uma área  $i$  para todas as outras áreas  $j$  e a probabilidade de ocorrer uma viagem entre as áreas  $i$  e  $j$ . Esta medida é, de alguma forma, derivada do modelo gravitacional e tem a seguinte formulação:

---

<sup>8</sup> DOTE – DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT (1976). Development plan evaluation and robustness. *Research Report*, n.5, London apud JONES (1981).

<sup>9</sup> SAVIGEAR, F. (1967). A quantitative measure of accessibility. *Town Planning Review*, n.38, v.1. p.64-72 apud JONES (1981).

<sup>10</sup> DOGSON, J.S. (1974). Motorway investment and sub-regional growth: the case of M62. *Regional Studies*, n.8. p.75-91 apud LINNEKER & SPENCE (1992).

$$A_i = \sum_j P_{ij} C_{ij}^a \quad (3.15)$$

$$P_{ij} = \frac{\frac{W_j}{C_{ij}}}{\sum_j \frac{W_j}{C_{ij}}} \quad (3.16)$$

onde  $A_i$  é a medida de acessibilidade da zona  $i$ ,  $P_{ij}$  é a probabilidade de ocorrer a viagem entre as zonas  $i$  e  $j$ ,  $C_{ij}$  representa o custo de viagem entre as áreas  $i$  e  $j$  e, finalmente,  $W_j$  é o número de empregos na zona  $j$ .

### 3.1.3 Indicadores do tipo oferta do sistema de transporte

Neste grupo estão enquadrados os indicadores que são de alguma forma definidos por aspectos relacionados à oferta de transportes, tais como: assentos ofertados, frequência do sistema de transporte, número de rotas etc.

Um estudo desenvolvido para a cidade de Londres, mencionado por BRUTON (1979), utilizou como parâmetros o número de linhas que servem determinada zona, a frequência do sistema de ônibus, além da área desta região. Tem a forma a seguir:

$$A_i = \frac{\sum_i \sqrt{F_{m,i}^z}}{\sqrt{S_i}} \quad (3.17)$$

sendo  $A_i$  é o indicador de acessibilidade na zona  $i$ ;  $F_{m,i}^z$  representa a frequência do sistema de transporte  $m$  que serve a zona  $i$  através da rota  $z$ , no horário entre-picos e  $S_i$  é a área da região  $i$ , dada em quilômetros quadrados.

JANUÁRIO (1995) e JANUÁRIO & CAMPOS (1996) procurando enfocar a acessibilidade voltada para a qualidade do transporte público, utilizaram em seu indicadores a oferta de lugares no transporte público. Além desse parâmetro,

incluíram também o tempo, a distância e o custo, no sentido de incorporar o aspecto qualitativo da acessibilidade. A relação entre a acessibilidade pontual de cada zona e a somatória de todas as acessibilidades pontuais de todas as zonas é definida como *índice de acessibilidade*. A acessibilidade pontual de cada zona é definida como:

$$A_i = \sum_{j=1}^n L_{ij} C_{ij}^{-1} \quad \text{onde } i \text{ e } j = 1, 2, \dots, n. \quad (3.18)$$

onde  $A_i$  é acessibilidade da zona  $i$  para a zona  $j$ ;  $L_{ij}$  representa a oferta de lugares no transporte público entre as zonas  $i$  e  $j$ ;  $C_{ij}$  é o fator de impedância entre as zonas  $i$  e  $j$ . O número de nós na rede é dado por  $n$ . O fator de impedância é dado pelos inversos dos valores das variáveis de impedância (tempo de viagem, custo de viagem e distância).

KRALICH (1996) desenvolveu um estudo utilizando a acessibilidade como indicador de nível de qualidade de vida. O estudo se baseou na Região Metropolitana de Buenos Aires e sua metodologia considerou o parâmetro *lugares ofertados* nas diversas linhas radiais de transporte público por ônibus e ferroviário, e os relaciona com indicadores demográficos quantitativos e qualitativos.

Uma medida bastante recente foi apresentada por AKINYEMI (1998a), que propõe que o nível de acessibilidade de viagem por um modo, de um lugar a outro, é função de duas variáveis principais: i) o máximo custo generalizado do movimento pelo modo, entre duas localidades, e ii) a capacidade produtiva do modo entre duas localidades. A acessibilidade cresce quando o custo generalizado diminui e com o crescimento da capacidade produtiva da rede. O nível de acessibilidade de um grupo de pessoas  $g$  pelo modo de transporte  $m$  entre as zonas  $i$  e  $j$  é matematicamente definida por:

$$A_{t,ij}^{g,m} = \frac{\sum CP_t^{r_{ij}}}{\max T_{t,ij}^{g,m}} \quad (3.19)$$

onde  $A_{t,ij}^{g,m}$  é o indicador de nível de acessibilidade do grupo de pessoas  $g$  pelo modo  $m$  entre  $i$  e  $j$  (em pessoas.km por custo de viagem) durante o período  $t$ ;  $CP_{t,ij}^{r}$  é a capacidade produtiva da rota  $r$  entre  $i$  e  $j$  (em pessoas.km por período de tempo) durante o período  $t$ ; e  $\max T_{t,ij}^{g,m}$  é o máximo custo generalizado de movimento do grupo  $g$  pelo modo  $m$  entre  $i$  e  $j$ . O máximo custo pode ser assumido como sendo o custo nas condições da capacidade. Isto depende grandemente da velocidade do movimento do modo entre  $i$  e  $j$ .

O nível global de acessibilidade de um grupo de pessoas, considerando os diversos modos, é também definido por AKINYEMI (1998a), e é expresso por:

$$AT_{t,ij}^g = \sum_m A_{t,ij}^{g,m} \quad (3.20)$$

onde  $AT_{t,ij}^g$  é o nível global de acessibilidade de viagem de um grupo de pessoas  $g$  da zona  $i$  para a  $j$  durante o período de tempo  $t$ ;  $A_{t,ij}^{g,m}$ , como definido anteriormente. A equação (3.20) descreve, então, o nível global de acessibilidade de viagem como a soma dos níveis de acessibilidade pelos modos de transportes disponíveis.

Uma metodologia foi proposta por SATHISAN & SRINIVASAN (1998) para avaliar a acessibilidade de redes urbanas para as necessidades de transportes de áreas urbanas, e usa as potencialidades computacionais de Sistema de Informações Geográficas, relacionando-as com o tradicional processo de planejamento urbano de transportes.

### **3.1.4 Indicadores que usam dados agregados que combinam aspectos de transportes e uso do solo**

Fazem parte deste grupo dois subgrupos compostos por indicadores dos mais utilizados e difundidos na literatura especializada, ou seja, os derivados do

tradicional modelo de Hansen, e aqueles indicadores que foram fundamentados a partir da Teoria Econômica.

### 3.1.4.1 Indicadores derivados do modelo de Hansen

A abordagem deste tipo de indicadores, utilizados no cálculo da acessibilidade de uma determinada zona é agregar as oportunidades disponíveis em cada uma das demais zonas, ponderada por uma função de resistência (impedância) para atingir essas zonas, ou seja, as oportunidades disponíveis em cada zona são descontadas ou deduzidas de acordo com a dificuldade para se atingir essa zona (JONES, 1981).

A formulação inicial deste tipo de indicadores foi desenvolvida por HANSEN (1959), que propôs que a acessibilidade de uma zona  $i$  poderia ser dada por:

$$A_i = \sum_j \frac{W_j}{d_{ij}^a} \quad (3.21)$$

sendo  $A_i$  a acessibilidade da zona  $i$ ;  $W_j$  o número de oportunidades da zona  $j$  para um determinado motivo;  $d_{ij}$  é a distância entre  $i$  e  $j$ ; e  $a$  uma constante.

Uma aplicação do indicador de Hansen foi feita também por KEUREN & SANDERS (1998) para a Ilha de Ameland, Holanda, tendo os autores considerado o valor unitário para a constante  $a$ .

Com uma formulação do tipo Hansen, ROSADO & ULYSSÉA NETO (1999) desenvolveram um estudo para analisar a acessibilidade às escolas públicas, onde o potencial de atratividade foi dado pelo número de matrículas escolares. O índice utilizado foi:

$$A_i^s = \sum_j Nmat_j^s (C_{ij})^{-b} \quad (3.22)$$

onde  $A_i^s$  é a acessibilidade de  $i$  em relação às escolas que dispõem do serviço  $s$ ;  $Nmat_j^s$  é o número de matrículas do tipo  $s$  em  $j$ ;  $C_{ij}$ , distância em metros entre  $i$  e  $j$ ;  $\mathbf{b}$  é o parâmetro de impedância ( $\mathbf{b}=1,0$ ). Esta medida difere daquela utilizada por DALVI & MARTIN (1976) uma vez que não leva em conta a acessibilidade como uma média ponderada dos efeitos de impedância, onde os pesos são dados pela atratividade do destino.

A dificuldade com o indicador do tipo Hansen, segundo JONES (1981), é que a sua medida de impedância de viagem (distância) é feita por uma função potencia negativa ( $1/d_{ij}^a$ ). JONES alega que a distância não é necessariamente a melhor forma para representar dificuldade de viagem, e o efeito da impedância poderia ser medida por outras funções melhores que a função potencia negativa proposta por Hansen. Surge, então, a *medida generalizada de HANSEN*, tal como em VICKERMAN (1974), que tem uma função mais genérica de dificuldade de viagem:

$$A_i = \sum_j W_j f(C_{ij}) \quad (3.23)$$

sendo que custo de viagem de  $i$  para  $j$  é dado por  $C_{ij}$  e  $f(.)$  representa alguma função que reflete o efeito da impedância do custo de viagem. Assim, o indicador original de Hansen poderia ser enquadrado como sendo uma caso particular da medida generalizada de Hansen com  $f(C_{ij}) = 1/C_{ij}^a$  e  $C_{ij}$  igual à distância de  $i$  até  $j$ . Esta formulação é adotada por HANSON (1995), admitindo que a medida de separação entre  $i$  e  $j$  pode ser tanto a distância quanto o tempo de viagem.

Existem duas variações da medida de Hansen que são, muitas vezes, tratadas simplesmente como sendo Indicador de Hansen, ou seja, as medidas de Hansen chamadas de *normalizada* e *ponderada pela população*.

A medida *normalizada de Hansen*, tal como utilizada por DALVI & MARTIN (1976) e KOENIG (1977), estabelece que a atratividade de uma determinada zona  $j$  é dada pela relação entre as oportunidades existentes na zona  $j$ ,

$W_j$ , e as oportunidades existentes em todas as demais zonas da área considerada,  $\sum_j W_j$ , e pode ser escrita na seguinte forma:

$$A_i = \frac{\sum_j W_j f(C_{ij})}{\sum_j W_j} \quad (3.24)$$

A medida de Hansen ponderada pela população associa acessibilidade com as oportunidades que os residentes na área considerada possuem para participar de uma atividade particular ou um conjunto de atividades.

$$A_i = P_i \sum_j W_j f(C_{ij}) \quad (3.25)$$

onde  $P_i$  é a população da zona  $i$ .

DALVI & MARTIN (1976) fizeram uma análise de acessibilidade por transporte particular, usando dados da cidade de Londres, apresentando uma comparação do padrão de acessibilidade associando a quatro medidas de atratividade da zona (total de empregos, empregos no varejo, residências e população). A função custo de viagem utilizada foi a exponencial negativa.

GIANNOPOULOS & BOULOUGARIS (1989) desenvolveram um modelo simples para calcular a acessibilidade às estações de passageiros e pode ser definido da seguinte maneira:

$$A_i = \sum_j P_j f(T_{ij}^m) \quad (3.26)$$

onde  $A_i$  é a acessibilidade da estação  $i$ ;  $P_j$  é a população da localidade  $j$  que fica dentro do raio de ação da estação  $i$ ;  $f(T_{ij}^m)$  representa a função impedância (tempo generalizado) pelo modo  $m$ . Este modelo foi então calibrado, utilizando dados da rede ferroviária da Grécia, chegando à seguinte forma:

$$A_i = \frac{\sum P_j}{T_{ij}} \quad (3.27)$$

onde  $A_i$ ,  $P_j$  foram definidos acima e  $T_{ij}$  o tempo entre as estações  $i$  e  $j$ .

DAVIDSON (1995) apresenta um indicador 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. A sua formulação é a seguinte:

$$A_i = \sum_j S_j f(C_{ij}) \quad (3.28)$$

onde  $A_i$  é a acessibilidade da zona  $i$ ,  $S_j$  é uma medida de atratividade da zona  $j$  e  $C_{ij}$  o tempo o custo percebido de viagem entre as zonas  $i$  e  $j$ , e  $f$  é uma função de impedância de viagem, tal como aquelas usadas nos modelos gravitacionais (potência ou exponencial).

Uma avaliação do desempenho dos sistemas de transporte coletivo e por automóvel na cidade de Matão-SP, por meio de um indicador de acessibilidade  $A_i$ , foi feita por SANCHES (1996), usando como medida de atratividade  $W_j$ , o número de empregos nas  $j$  zonas. O indicador proposto tem a seguinte formulação:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_j f(C_{ij})}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (3.29)$$

onde  $f(C_{ij}) = \exp(-bT_{ij})$ , com  $b = 0,11$ , e  $C_{ij}$  foi considerado como sendo o tempo de viagem entre as zonas  $i$  e  $j$ , e  $n$  é o número de zonas.

Uma medida proposta por SALES FILHO (1998), levou em consideração os efeitos combinados das atratividades da origem e dos destino das viagens. O indicador considera o efeito *exclusividade*, significando que nas interações casa-trabalho, cada indivíduo ocupa somente uma vaga de trabalho e cada vaga é ocupada

somente por um indivíduo. O efeito *agrupamento* de atividades em certos tipos de interação, por exemplo, no caso de *shopping centers*, considera interações casa-compras/lazer/serviços. Também a *restrição de capacidade* foi incorporada ao indicador, devido ao aumento no tempo de viagem ou custo generalizado em certas conexões de uma rede de transporte. A formulação matemática deste indicador é a seguinte:

$$A_{ij} = (p_{ij} \cdot O_i \cdot q_{ij} \cdot D_j \cdot fa_j)^{1/2} \cdot f(c_{ij} + fk \cdot k_{ij}) \cdot \frac{Atot_{ne}}{Atot_e} \quad (3.30)$$

onde  $A_{ij}$  é a acessibilidade de  $i$  em relação a  $j$ ;  $p_{ij}$  e  $q_{ij}$  são, respectivamente, fatores de exclusividade das zonas  $i$  e  $j$ ;  $O_i$  e  $D_j$  representam as atratividades de  $i$  e  $j$ ;  $fa$  fator relativo ao agrupamento de atividades;  $c_{ij}$  é o custo generalizado;  $fk$  é o fator que permite adaptar diferentes cenários;  $k_{ij}$  fator devido ao aumento de tempo ou custo generalizado devido a restrição de capacidade;  $\frac{Atot_{ne}}{Atot_e}$  é um fator de correção, devido ao uso de valores relativos em vez de valores absolutos na acessibilidade relativa.

A consideração de efeitos combinados da atratividade de origens e destinos, proposta por SALES FILHO (1998), merece especial relevância, pois permite desenvolver uma nova matriz de tratamento para esses indicadores, além de uma nova metodologia de avaliação de redes de transportes.

Uma vantagem no uso das medidas derivadas do modelo de Hansen é a consideração do efeito combinado uso do solo/transporte. Como fatores limitantes dessas medidas, podem ser citados: as dificuldades teóricas na seleção e calibração da função custo de transporte, dificuldades no isolamento das influências de separação e atratividade (SALES FILHO, 1998). As medidas de Hansen têm sido, dentre as medidas agregadas, as mais utilizadas na literatura (ARRUDA, 1999).

### 3.1.4.2 Indicadores definidos a partir da Teoria Econômica

Os indicadores deste subgrupo foram desenvolvidos a partir de conceitos extraídos da teoria econômica, ou seja, o conceito de *excedente do consumidor*<sup>11</sup> ou dos benefícios que se obtêm do sistema de transporte quando a pessoa busca a *maximização da utilidade* ou o *benefício total* em tempo ou em termos financeiros.

Um primeiro exemplo deste subgrupo é o trabalho desenvolvido por TANER<sup>12</sup> apud JONES (1981), que usou a abordagem de excedente do consumidor para a localização de residência e trabalho, e o modo no qual eles estão relacionados para dar um padrão de jornada ao trabalho, sugerindo que o diferencial de aluguel e renda pode ser considerado como medida de acessibilidade.

Os indicadores exemplificados a seguir são derivados de modelos de demanda de viagem, que consideram que as viagens a serem realizadas são função do benefício total das pessoas que viajam. Assim, alterações no sistema de transporte e uso do solo podem alterar o benefício total ou o excedente do consumidor a ser apropriado pelos indivíduos, resultando em variações na quantidade de deslocamentos a serem empreendidos.

Muitas dessas medidas de acessibilidade foram desenvolvidas usando argumentos intuitivos, porém, cuidados têm sido tomados para que elas tenham um embasamento teórico seguro, usando conceitos subtraídos da teoria econômica, mostrando que uma derivação do indicador de acessibilidade de Hansen é essencialmente uma medida de excedente do consumidor (JONES, 1981). Este é o

---

<sup>11</sup> *Excedente do consumidor* é o benefício que o indivíduo obtém pela diferença do montante que ele estaria disposto a pagar pelo deslocamento e o montante de recursos que ele realmente paga. Essa diferença deve ser, evidentemente, um valor positivo.

<sup>12</sup> TANER, J.C. (1980). Distribution models for the journey. Department of the Environment. Department of Transport, TRRL. Report LR 951. Crowthorne apud JONES (1981).

caso do trabalho de NEUBERGER<sup>13</sup> apud MORRIS *et al.* (1979) e JONES (1981) que analisa o benefício do usuário na avaliação de planos de uso do solo e transporte.

A formulação que permite calcular a variação no excedente do consumidor quando ocorre um declínio no custo de uma viagem de  $c_1$  para  $c_2$  é a seguinte:

$$CS = - \int_{c_1}^{c_2} D(c)dc \quad (3.31)$$

onde  $D(c)$  é a demanda de viagem em função do seu custo  $c$ , e  $CS$  é variação no excedente do consumidor. A variação  $CS_{ij}$  no excedente do consumidor do indivíduo quando ocorre uma diminuição de  $c_{ij}^1$  para  $c_{ij}^2$  no custo de viagem da zona  $i$  para a zona  $j$ , assumindo que todos os demais custos sejam constantes, é dado por:

$$CS_{ij} = - \int_{c_{ij}^1}^{c_{ij}^2} D_{ij}(c)dc \quad (3.32)$$

onde  $D_{ij}(c)$  é a função demanda de viagem, isto é, o número de viagens de  $i$  para  $j$  quando o custo dessa viagem é  $c$ . Estipulado que a forma de exponencial negativa é usada, a formulação do modelo gravitacional da função de demanda de viagem tem sido mostrada ser derivável – se certas considerações forem feitas – considerando que as pessoas fazem as viagens que maximizam seus excedentes de consumidor. Assim, o modelo gravitacional é uma função de demanda apropriada no uso da avaliação do excedente do consumidor.

O modelo de demanda de viagem restringido<sup>14</sup> é dado por:

---

<sup>13</sup> NEUBERGER, H. (1971). User benefit in the evaluation of transport and land use plans. *Journal of Transportation Economic and Policy*. v. 5, n.5. p.52-75 apud MORRIS *et al.* (1979) e (JONES, 1981).

<sup>14</sup> Modelo para prever o número de viagens  $T_{ij}$  entre a zona  $i$  e a zona  $j$  com a restrição que  $O_i$  viagens deixam a zona  $i$ .

$$D_{ij} = \frac{O_i W_j e^{-bc_{ij}}}{\sum_j W_j e^{-bc_{ij}}} \quad (3.33)$$

sendo que  $D_{ij}$  é o número previsto de viagens da zona  $i$  para a zona  $j$ ;  $O_i$  o número de viagens originadas na zona  $i$ ;  $W_j$  é a atratividade da zona de destino de viagens  $j$ ;  $c_{ij}$  é o custo de viagem de  $i$  para  $j$ ; e  $b$  é uma constante a ser calibrada.

Procedendo alterações nos custos de viagem de  $c_{ij}^{(1)}$  para  $c_{ij}^{(2)}$ , na atratividade das zonas  $j$ , de  $W_j^{(1)}$  para  $W_j^{(2)}$  e na distribuição de viagens originadas na zona  $i$ , de  $O_i^{(1)}$  para  $O_i^{(2)}$ ; mantendo-se a população total constante, e integrando-se a equação resultante, a variação no excedente do consumidor  $CS$  pode ser dada por:

$$CS = \frac{1}{b} \sum_i \left[ O_i^{(2)} \log_e \left( \sum_j W_j^{(2)} e^{-bc_{ij}} \right) - O_i^{(1)} \log_e \left( \sum_j W_j^{(1)} e^{-bc_{ij}} \right) \right] \quad (3.34)$$

Esta equação nada mais representa que  $1/b$  vezes a diferença em  $\log_e$  da medida de acessibilidade de Hansen, ponderada pelo número de viagens originadas nas zonas e incorporando a função exponencial negativa na função de impedância. Assim, pode-se considerar que o logaritmo neperiano da função exponencial negativa do índice de Hansen é essencialmente uma medida de excedente do consumidor.

WADDELL (1998) operacionalizou o conceito de acessibilidade para uma dada localização como sendo a distribuição de oportunidades ponderada pela utilidade de viagem para aqueles destinos. A utilidade de viagem é operacionalizada como a utilidade composta por todos os modos de viagem para cada par de zonas. A medida de acessibilidade resultante para cada localização é:

$$A_i = \sum_j W_j \cdot e^{bL_{ij}} \quad (3.35)$$

onde  $A_i$  é a acessibilidade da zona  $i$ ,  $W_j$  é a atividade na localização  $j$ ,  $L_{ij}$  é a utilidade combinada, da localização  $i$  para  $j$ , e  $b$  é o parâmetro escalar da utilidade, inicialmente fixado em 1.

Essas medidas, baseadas na teoria econômica, apresentam como fator limitante a visão individual da pessoa, não considerando os impactos na sociedade; por outro lado, estas medidas apresentam uma fundamentação teórica consistente (SALES FILHO, 1998).

### **3.1.5 Indicadores que usam dados desagregados que combinam aspectos de transportes e uso do solo**

Fazem parte deste grupo os indicadores que usam medidas de contorno, indicadores que consideram aspectos relacionados à engenharia de tráfego, indicadores do tipo geografia espaço-tempo, além daqueles que associam ao indicador medidas que envolvem o conceito de mobilidade.

#### **3.1.5.1 Indicadores que utilizam medidas de contorno**

Este subgrupo de indicadores é a família mais comum e conhecida de indicadores que usam dados desagregados do sistema de transporte e uso do solo. Normalmente, define-se para cada zona uma série de custos de viagem – em geral tempo de viagem – definindo uma linha de contorno. Estes indicadores são, às vezes, chamados de medidas de oportunidades acumuladas, e indicam o nível de acessibilidade de um local de acordo com o número de oportunidades que podem ser atingidas dentro de um dado valor de tempo  $x$ . A decisão do valor de  $x$ , segundo PIRIE (1979), é arbitrária.

A vantagem deste tipo de medida, segundo MOWFORTH (1989), é a sua simplicidade, podendo ser entendida por muitas pessoas. Estes indicadores também são conhecidos como *medidas isócronas* (ARRUDA, 1999). A expressão numérica

destes indicadores poderia ser considerada como um caso particular do tipo gravitacional (KOENIG, 1980).

A acessibilidade de uma zona pode ser definida de duas formas: i) o número de oportunidades que pode ser atingido dentro deste custo de viagem ou dentro de uma série de custos; e ii) o custo necessário para se atingir um dado número (ou vários números) de oportunidades. A primeira medida pode ser expressa, para cada zona  $i$  e contorno  $C$ , como sendo:

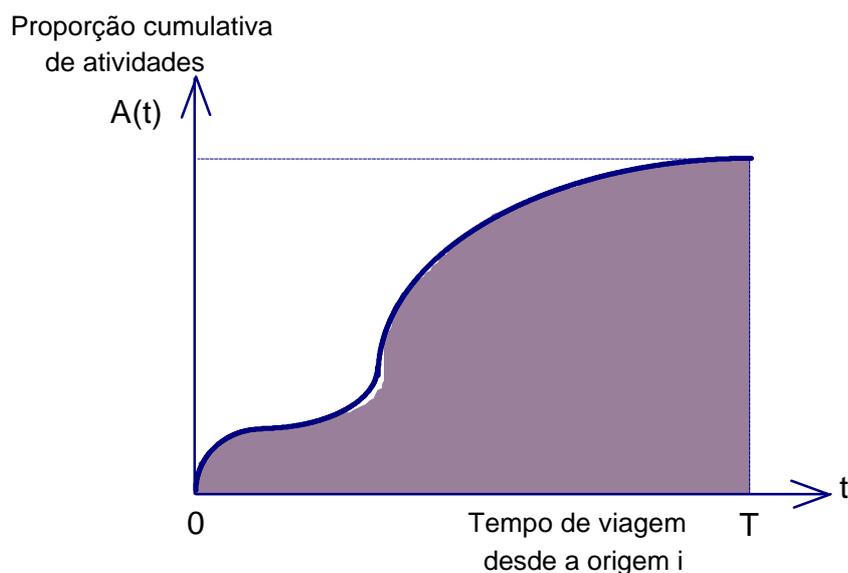
$$A_i = \sum_j W_j f(c_{ij}) \quad (3.36)$$

$$f(c_{ij}) = 1 \quad \text{se} \quad c_{ij} \leq C \quad \text{e}$$

$$f(c_{ij}) = 0 \quad \text{se} \quad c_{ij} > C$$

onde  $W_j$  corresponde ao número de oportunidades na zona  $j$  e  $f(c_{ij})$  é o custo de viagem de  $i$  para  $j$ . Este caso é um caso especial da medida de Hansen  $\sum_j W_j f(c_{ij})$ .

Um indicador de acessibilidade foi obtido por BLACK & CONROY (1977) a partir de um estudo desenvolvido na maior cidade australiana, Sydney. O indicador sugerido foi a área sob a curva de distribuição acumulada de oportunidades atingíveis dentro de um tempo especificado. A medida numérica calculada é a área delimitada pela curva de distribuição, o eixo  $t$ , do tempo de viagem, e a ordenada, eixo  $A(t)$ , da proporção acumulativa de atividades atingidas (ver Figura 3.2). As oportunidades consideradas foram os postos de trabalho, e o custo de viagem adotado foi o tempo de viagem do trabalhador, desde sua residência até o local de trabalho, considerando dois modos de transporte: automóvel e transporte coletivo.



**Figura 3.2 – Medida gráfica de acessibilidade**

Fonte: BLACK & CONROY (1977)

MITCHEL<sup>15</sup> apud JONES (1981) por sua vez, desenvolveu um estudo teórico obtendo: i) isocrônicas para quatro rotas de transporte por ônibus e caminhada em função de diversos tempos (5, 10, 15,...minutos) de viagens; ii) número de oportunidades de empregos atingível, a pé e por ônibus, dentro de determinados tempos (5, 10, 15,...minutos).

Um trabalho teórico foi desenvolvido por DOMANSKI (1979), onde a acessibilidade espacial e os custos foram usados como medidas para representar equidade espacial e eficiência econômica. Foram simuladas quatro diferentes alternativas de crescimento de uma micro região, com variação de oportunidades (empregos, moradia e serviços). A acessibilidade foi medida de cinco maneiras: i) área acessível no prazo de 1 hora (em km<sup>2</sup>); ii) número de pessoas residentes em uma área acessível em 1 hora; iii) média ponderada da população que reside na área acessível em 1 hora; iv) custo de transporte por habitante; e v) potencial do local, definido como sendo a acessibilidade de uma cidade ou vilarejo para oportunidades

---

<sup>15</sup> MITCHEL, C.G.B. (1979). Concepts and definitions of accessibility. *Proceedings of a Conference on Mobility in Rural Areas Held at the Centre for Transport Studies*. Cranfield, Session 4, part 1 apud

de um centro regional. Para todas estas cinco medidas de acessibilidade foram construídas figuras com linhas isocrônicas. O autor define também *acessibilidade associada* como sendo a acessibilidade para todas as oportunidades em um determinado centro regional e pode ser representada por:

$$A_i = (a_i^e)^{0,5} (a_i^r)^{0,5} (a_i^s)^{0,5} \quad (3.37)$$

onde  $(a_i^e)^{0,5}$  é a acessibilidade para oportunidades de emprego;  $(a_i^r)^{0,5}$  é a acessibilidade residencial; e  $(a_i^s)^{0,5}$  é a acessibilidade para oportunidades de serviços. A natureza da função representada pela Equação (3.36) significa que é possível obter-se uma mesma acessibilidade associada através da combinação de várias acessibilidades componentes. Uma pior acessibilidade para serviços, por exemplo, em determinado centro, pode ser compensada por uma melhor acessibilidade de empregos neste mesmo centro. Esses componentes da acessibilidade têm, normalmente, distintos significados para diferentes pessoas.

Conhecendo-se as acessibilidades individuais de cada local particularmente (cidades, vilarejos etc.), ainda de acordo com DOMANSKI (1979), pode-se obter facilmente a acessibilidade da região  $A_r$ , definida como sendo:

$$A_r = \sum A_i \quad (3.38)$$

e, a acessibilidade de todas as regiões ( $A_s$ ), da seguinte forma

$$A_s = \sum A_r \quad (3.39)$$

Com as condições e limites impostos pelas hipóteses adotadas, concluiu DOMANSKI (1979), foi possível obter economia de escala, além de melhorar a acessibilidade espacial, simultaneamente.

HANSON & SCHWAB (1987), utilizando dados da cidade sueca de Uppsala, desenvolveram um indicador de acessibilidade usando como parâmetros o sexo, a propriedade de automóvel, o tipo de emprego, além de cinco aspectos das viagens dos indivíduos, tais como: o modo usado, frequência e distância de viagens,

complexidade das viagens, viagens conjugadas com a viagem a trabalho, e a dimensão do espaço atingido. Este indicador pode ser definido como:

$$A_i = \frac{\sum_{n=1}^{10} W_n}{0,5n} \quad (3.40)$$

onde  $A_i$  é o indicador de acessibilidade para o  $i$ -ésimo indivíduo,  $W_n$  representa o número de estabelecimentos dentro do  $n$ -ésimo anel, ou seja, entre o anel  $0,5n$  km e o anel  $0,5(n-1)$  km do trabalho ou moradia do  $i$ -ésimo indivíduo.

Usando dados da região da Grande Londres, MOWFORTH (1989) calculou a acessibilidade ao emprego de diversos segmentos de trabalhadores para dois cenários da cidade, existentes nos anos de 1971 e 1981, para diferentes modalidades de transportes. O nível de separação entre as áreas residenciais e os locais de trabalho foi medido em termos de custo generalizado, combinando os elementos principais, tempo e custo monetário, além de incluir a influência do conforto/desconforto. Os custos foram calculados considerando o tempo de caminhada do centróide do bairro à rede modal, o tempo dentro do veículo, a tarifa paga em cada modal, e para o tempo de espera baseado no *headway* de cada modal. Foram construídas as curvas de distribuição acumulada do custo generalizado para cada grupo de trabalhadores.

SALES FILHO (1998) aponta a visualização dos resultados e a facilidade computacional nos cálculos como as grandes virtudes dessas medidas; por outro lado, as dificuldades na agregação dos dados e os valores relativos, são mencionados como as maiores desvantagens.

### **3.1.5.2 Indicador do tipo engenharia de tráfego**

A principal diferença entre os indicadores das demais categorias e os indicadores do tipo engenharia de tráfego é que eles estão mais relacionados com o tráfego veicular do que com o movimento de pessoas propriamente dito. Acessibilidade, para a engenharia de tráfego, pode ser perfeitamente definida como sendo o resultado das facilidades proporcionadas pela infra-estrutura física do

sistema de transportes, sendo a sua principal característica a facilidade de deslocamento (JANUÁRIO, 1995).

Os indicadores de engenharia de tráfego explicam, portanto, a facilidade de movimentação dos veículos de um ponto a outro, em determinada área. Dependem das condições do tráfego na rede tanto quanto das facilidades no ponto de destino, disponibilizadas ao motorista de um veículo. O indicador do tipo engenharia de tráfego expressa o nível de serviço disponível pela rede de transporte e, usualmente, segundo GIANNOPOULOS & BOULOUGARIS (1989), corresponde à seguinte relação, bastante conhecida:

$$A_i = \frac{Q_i}{K_i} \quad (3.41)$$

onde  $A_i$  é o nível de acessibilidade da via  $i$ ;  $Q_i$  o volume de tráfego na via  $i$ , e  $K_i$  é a capacidade de tráfego da via  $i$ .

### 3.1.5.3 Indicador do tipo geografia espaço-tempo

Poucas têm sido as abordagens de indicadores de acessibilidade baseadas no conceito de geografia espaço-tempo; esta é uma abordagem da sociedade que considera o tempo tão importante quanto o espaço. É fundamental para a abordagem o conceito de “caminho de vida” das pessoas, isto é, o conjunto de localidades no espaço e no tempo que as pessoas ocupam. Se somente uma restrição fixa do tempo de uma pessoa é considerada, então pode-se desenhar um “prisma espaço-tempo”, para indicar onde será possível ela estar em outros momentos.

Para o geógrafo do espaço-tempo, a acessibilidade é o produto de um sistema de atividades amplamente concebido que leva em consideração todas as maneiras possíveis, por meio das quais as pessoas, os domicílios, os órgãos e empresas buscam realizar diariamente seus negócios, bem como almejam a interação de uns com os outros na área em referência, no espaço e no tempo. Além disso, procura enfatizar a forma pela qual a acessibilidade se constitui, ou seja, considera-se o tempo gasto nas

diversas atividades, o tempo programado para os deslocamentos, bem como a seqüência de atividades no dia da pessoa. Consideram, portanto, os fatores que limitam a liberdade de ação da pessoa no tempo e no espaço, utilizando um esquema de representação das atividades humanas desenvolvido pelo sueco T. Hagerstrand (ARRUDA, 1999).

O prisma de espaço-tempo é a medida de autonomia de um indivíduo, que mostra as possibilidades no espaço e tempo que estão abertas para a pessoa, dadas certas restrições; é usualmente definido em um diagrama, que visualmente define os limites exteriores de possibilidades em uma situação específica (HANSON, 1995).

A visualização e o impacto da restrição da escala de tempo na acessibilidade são apontados por SALES FILHO (1998) como aspectos positivos neste tipo de medida. No entanto, essas medidas apresentam dificuldades de agregação de dados, além de demandar dados mais numerosos e complexos.

No próximo capítulo estarão sendo abordados, de maneira detalhada, definições, usos e indicadores sobre o conceito mobilidade.

## 4. MOBILIDADE

*Este capítulo apresenta, inicialmente, as lógicas que determinam a mobilidade urbana, ou seja, as massas populacionais e seus movimentos. Os conceitos e considerações, a maneira como diversos autores entendem a mobilidade e a sua importância, são apresentados em seguida. O capítulo também dispõe de alguns indicadores de mobilidade encontrados na literatura, além da moderna concepção de gerenciamento da mobilidade e, em sua parte final, estão contidas as tendências da mobilidade em nível mundial, bem como um maior detalhamento daquilo que ocorre com os grupos que possuem menor mobilidade, particularmente os de baixa renda.*

### 4.1 As lógicas que determinam a mobilidade urbana

Na geografia urbana, o deslocamento nas cidades é analisado e interpretado em termos de um esquema conceitual que articula a *mobilidade* urbana, que são as massas populacionais e seus movimentos; a *rede*, representada pela infra-estrutura que canaliza os deslocamentos no espaço e no tempo; e os *fluxos*, que são as macro-decisões ou condicionantes que orientam o processo no espaço.

As decisões individuais dos deslocamentos não são formuladas de forma isolada, e encontram sustentação em forças e condicionantes coletivos que são estruturados historicamente no urbano por diferentes atores. Estes atores configuram três lógicas que determinam a mobilidade urbana, as quais reproduzem, de forma constante, o espaço urbano desigual e que estão também na base dos deslocamentos nos sistemas urbanos (DELGADO, 1995). Essas três lógicas são:

- *Lógica da inserção no espaço urbano* - é o comportamento das pessoas e grupos para a inserção no espaço como localização, o qual se expressa na mobilidade residencial em correspondência ao mercado residencial. Esta lógica poderá favorecer ou não a localização do usuário da cidade como consumidor;
- *Lógica de inserção no sistema produtivo* - complementa e interage com a lógica anterior, representando o comportamento das pessoas e grupos para sua inserção no processo produtivo. Isto é expresso nas trajetórias laborais-profissionais em correspondência à dinâmica do mercado laboral. Esta lógica favorecerá ou não a localização do usuário da cidade como produtor e, portanto, como consumidor; e
- *Características da oferta de transporte* - esta lógica determina a mobilidade urbana, representando as práticas das pessoas e grupos para se inserirem, de modo favorável, nas atividades de circulação no espaço urbano, fator este que configura a oferta de serviço.

Quatro são os fatores essenciais que orientam a demanda por mobilidade (HANOCQ, 1988): i) desenvolvimento econômico; ii) evolução sociológica; iii) ampliação na apropriação do espaço urbano; e iv) evolução tecnológica.

O estudo da mobilidade urbana é de primordial importância, não só para os países emergentes, mas também para os países de primeiro mundo, tanto que, na Itália, foi criado o Laboratório Nacional em Mobilidade que, baseado nas práticas de outros países europeus, objetiva agir como pólo de referência para todas as políticas de mobilidade, em particular, para aquelas políticas criadas por órgãos locais (BENEVOLO, 1998).

Poder satisfazer de modo adequado os desejos de mobilidade das pessoas nos distintos âmbitos e, em particular no âmbito urbano, é um dos objetivos determinantes do poder público e, um maior ou menor grau de satisfação destas necessidades faz parte do que se pode chamar de qualidade de vida (FERRANDIZ, 1990).

## 4.2 Definições, conceitos e considerações sobre mobilidade

O conceito de mobilidade urbana é usualmente associado e, muitas vezes, confundido com o conceito de acessibilidade. Considerando que isto seja apenas uma questão de definição, isto é, o modo com que ele é estipulado para entender este ou aquele conceito, e considerando a literatura atual, assume-se que a mobilidade está relacionada com os deslocamentos diários (viagens) de pessoas no espaço urbano. Não apenas sua efetiva ocorrência mas também sua facilidade ou possibilidade de ocorrência (SALES FILHO 1997, SALES FILHO, 1998).

O aumento do interesse entre os profissionais de transportes, no entanto, tem conduzido ao surgimento de uma quantidade muito grande de definições e interpretações dos termos e medidas de mobilidade, tal como ocorre com a acessibilidade, visto nos dois capítulos anteriores.

Para CARRUTHERS & LAWSON (1995), é necessário fazer a distinção entre acesso e mobilidade. Muitas viagens são feitas com os mais diversos motivos para acessar o local de trabalho, compras, educação, recreação etc. Mobilidade, por sua vez, é a demanda para o movimento e surge como resultado do desejo de acesso.

O conceito de mobilidade é interpretado, segundo TAGORE & SIKDAR (1995), como sendo a capacidade dos indivíduos se moverem de um lugar para outro e depende da performance do sistema de transportes (disponibilidade, frequência, tempo de espera etc.) e características do indivíduo (renda, veículo próprio, recursos que ele pode gastar na viagem etc.).

Mobilidade pessoal, para MORRIS *et al.* (1979), é interpretada como sendo a capacidade dos indivíduos de se locomoverem de um lugar ao outro e depende principalmente da disponibilidade dos diferentes tipos de modos de transportes, inclusive a pé. Para os autores, mobilidade é conceitualmente distinta de viagens atuais realizadas.

Mobilidade é descrita como a capacidade de viajar associada com um dado grupo ou pessoa, medida por indicadores tais como propriedade de autos e sua

disponibilidade, poder usar e pagar ônibus ou táxi. Este conceito pode parecer complementar ao de acessibilidade. Medidas de mobilidade refletem a capacidade da pessoa usar vários modos (sem considerar as oportunidades a serem atingidas) e medidas de acessibilidade descrevem as localizações que poderiam ser atingidas por um dado modo (sem considerar a capacidade real da pessoa usar este modo) (WACHS & KOENIG, 1979). Para ROSADO & ULYSSÉA NETO (1999, p.30), a medida de mobilidade “traduz o grau de impedância do deslocamento”. Esta impedância poderia ser entendida, por determinado prisma, como o grau de dificuldade que a pessoa, sob o ponto de vista pessoal, encontra para efetuar o deslocamento através do sistema de transporte.

Associado ao termo mobilidade, existe também o conceito de *mobilidade residencial*, que considera os movimentos efetuados pelas famílias na área urbana, para o estabelecimento de suas moradias em regiões diferentes, ao longo dos anos (EDWARDS, 1983; CLARK & ONAKA, 1983; OZO, 1986; LU, 1998). O trabalho de MAGALHÃES (1998) leva em consideração a importância que é dada à mobilidade existente para os deslocamentos entre a residência e o trabalho, considerando o estudo de caso de Belo Horizonte.

Já, para MEYER (1984), um pensamento que é muito comum e pode ser encontrado em muitos trabalhos, é o de que a mobilidade está diretamente relacionada à capacidade que o indivíduo tem de possuir e dirigir um automóvel.

Para STEMERDING (1996), mobilidade é a capacidade de se movimentar livremente de um ponto de origem a um destino desejado e é uma das maiores realizações para o bem-estar do cidadão. Uma definição semelhante foi apresentada por CTAQC (1998): mobilidade é a capacidade para se mover livremente na região ou nação. Existem ainda alguns autores que não fazem qualquer distinção entre os termos mobilidade e acessibilidade, como é o caso de BLACK (1995).

Mobilidade é a capacidade de um indivíduo para se movimentar. Esta “capacidade” do indivíduo depende da performance do sistema de transporte usado, a hora do dia e a direção na qual o indivíduo pretende viajar, suas características

individuais, tais como se ele tem carro, pode tomar um táxi ou ônibus etc. Em resumo, a noção de mobilidade caracteriza a capacidade da pessoa se locomover e o uso que ele faz desta capacidade (GIANNOPOULOS & BOULOUGARIS, 1989).

AKINYEMI & ZUIDGEEEST (1998), por sua vez, consideram mobilidade como sendo muito mais uma variável de oferta do que uma variável de demanda. Em vez de significar viagens atuais ou viagens feitas, caracterizadas por medidas tais como quilômetros por viagem feita por uma pessoa, número de viagens feitas por dia ou por ano por uma pessoa etc., mobilidade pode ser definida como um termo qualitativo que representa a capacidade que um grupo de pessoas tem para viajar a partir de uma zona, por diversos modos de transporte. Mobilidade, conseqüentemente, se torna dependente da disponibilidade dos modos de transporte para o grupo de pessoas, tanto quanto a facilidade com a qual os membros do grupo encontram para viajar pelos modos de transporte disponíveis.

Para PASCHETTO *et al.* (1983), a mobilidade urbana depende de vários fatores: desenvolvimento urbano, crescimento da cidade no espaço e no tempo, tendências sociais urbanas, mudanças e expansão das comunicações e disponibilidade de transportes. Dentro deste contexto, mobilidade urbana mostra-se como uma necessidade por transporte, moldada pelo modo de vida como um todo.

A mobilidade espacial de pessoas pode ser considerada como necessária para a satisfação de muitas necessidades humanas, de acordo com KOLLARITS (1998), que cita três diferentes definições de mobilidade, apontadas no trabalho de FRANZ<sup>16</sup>: i) movimento espacial atual; ii) capacidade para movimentar ou potencial para acessar localizações de atividades; e iii) disposição mental para ser móvel.

Para HAMBURG *et al.* (1995), não existe equidade social quando alguns podem escolher livremente a mobilidade espacial, enquanto que outros têm uma diferente e talvez difícil escolha a fazer. Ainda, para esses autores, a ausência de mobilidade a um grupo de pessoas pode reduzir a possibilidade de empregos, e pode

---

<sup>16</sup> FRANZ, P. (1984). *Soziologie der raumlichen Mobilitat*. Eine Einfuehung. Frankfurt/New York, Campus Studium, 556 apud KOLLARITS (1998).

sistematicamente contribuir para o desemprego. Assim, a tolerância da iniquidade cria um cinismo social onde os direitos estão garantidos somente para aqueles que podem dispor de recursos para assegurá-los.

A mobilidade, para FERRANDIZ (1990), é um componente da qualidade de vida aspirada pelos habitantes de uma cidade. Dessa forma, não se pode considerar que uma determinada região urbana tenha um nível ambiental alto (com baixos índices de ruídos, contaminação do ar etc.), se um componente muito importante deste ambiente, como é o caso da mobilidade, não estiver devidamente contemplado.

CMSP (1990), por sua vez, define *índice de mobilidade* como sendo, inicialmente, a relação entre o número de viagens motorizadas e o número de habitantes, como por exemplo o de uma cidade. Posteriormente, foram acrescentadas também as viagens a pé ao índice de mobilidade. MORENO (1998) analisa a mobilidade da região de Madri considerando os deslocamentos diários realizados através de veículos privados (bicicleta, automóvel motorista e acompanhante, motocicleta e outros), transporte público (ônibus, metrô e trem de subúrbio) e táxi.

Muitos pesquisadores têm definido mobilidade como sendo a facilidade de viagem, isto é, o número de viagens que um indivíduo faz durante um dia, aproveitando as oportunidades econômicas e sociais disponibilizadas pela cidade.

A mobilidade não pode ser encarada apenas sob a ótica da demanda atendida por um ou outro modo de transporte. A visão deve estar ligada, segundo FORNECK & ZUCCOLOTTO (1996), às necessidades de deslocamento da população, principalmente daquela parcela que depende do transporte coletivo. “A mobilidade é um requisito da liberdade” (SERRATOSA, 1996, p.16).

BURKHARDT<sup>17</sup> apud DALVI (1979) sugere que o termo mobilidade deve ser usado para se referir à restrição de oferta sofrida pelo indivíduo. O termo

---

<sup>17</sup> BURKHARDT, J.E. (1972). Need as a criterion for transportation planning. *Highway Research Record*, n.435 apud DALVI (1979).

mobilidade para INDEPENDENT COMMISSION ON TRANSPORT<sup>18</sup> apud DALVI (1979) se refere à facilidade com que uma pessoa se move ou a quantidade de movimento que ela realiza. Mais precisamente o termo mobilidade pode ser definido de dois modos distintos: primeiro como um conceito e então em termos de alguma medida física daquele conceito. Como um conceito, mobilidade se refere ao grau para o qual uma pessoa está livre de entraves em sua casa ou outro lugar para viajar. Por exemplo, um mulher com um bebê poderia ser considerada ter menos mobilidade do que outra sem o bebê, embora esta restrição possa ser traduzida em escassez de recursos de tempo.

A interpretação mais comum do termo mobilidade, segundo AKINYEMI (1998a), é aquela na qual se relaciona o conceito de mobilidade à viagens atuais ou viagens feitas, utilizando - por exemplo - as seguintes medidas: i) número de quilômetros por viagem por pessoa; ii) número de viagens por pessoa por dia; iii) número de quilômetros viajados diariamente por pessoa por modo; e iv) número de viagens por dia por pessoa por modo.

No entanto, para TAGORE & SIKDAR (1995) e AKINYEMI (1998a), viagens atuais ou viagens realizadas não são a mesma coisa que mobilidade. AKINYEMI afirma que uma viagem feita é um resultado (ou indicação de consumo de um serviço) enquanto que mobilidade é um termo que se refere à competência ou capacidade para viajar (ou consumir um serviço). Também, a quantidade de viagens de uma determinada pessoa em um dado período, salienta AKINYEMI, é simplesmente o grau para o qual a pessoa exercita sua capacidade de se mover por um determinado período. Indubitavelmente, o grau no qual a pessoa exercita sua capacidade em termos da quantidade de quilômetros por viagem ou número de viagens feitas em um dado dia depende, dentre outras coisas, do desejo e da necessidade do indivíduo e, assim, não necessariamente o máximo que a pessoa pode alcançar naquele dia. Além do mais, o uso dessas medidas sozinhas tende a mascarar

---

<sup>18</sup> INDEPENDENT COMMISSION ON TRANSPORT (1974). *Changing directions*. London, Coronet Books apud DALVI (1979).

ou trivializar a influência das facilidades de transportes e serviços, tornando difícil relacionar condições do sistema de transporte ao nível de mobilidade.

Em sua conotação convencional, a mobilidade sempre foi tratada por meio de uma abordagem quantitativa, significando os deslocamentos ou viagens que acontecem na cidade, e que tem como referência um local de origem e outro de destino, sendo que muitas vezes se refere tão somente às viagens motorizadas. No entanto, a atual complexidade urbana ajudou a compor um conceito mais complexo, que capta a mobilidade como um fenômeno “multifacetado”, com dimensões diferenciadas, em nível social, econômico e político, e mesmo cultural. Esse novo conceito pressupõe entender as necessidades do sujeito urbano e as especificidades de sua inserção nas diversas esferas que o urbano oferece. Assim, a mobilidade passa a se constituir, pelo menos como se manifesta em países latino-americanos, em um aspecto essencial e condicionante da qualidade de vida (PINHEIRO, 1994).

Uma outra interpretação do conceito de mobilidade envolve a consideração de mobilidade em termos de propriedade ou disponibilidade de um modo de transporte. Com este entendimento do termo, analisa ANIKYEMI (1998), uma pessoa é considerada não ter mobilidade quando ela não possui um veículo ou não tem um modo de transporte disponível. Entretanto, prossegue o autor, ao se interpretar mobilidade em termos de propriedade de um veículo não se leva em conta que um veículo é tão somente um meio de movimento. Indiscutivelmente, baseado na situação de muitas cidades de países em desenvolvimento, a propriedade ou disponibilidade de um meio de movimento isoladamente não garante necessariamente a capacidade de movimento.

Algumas inferências foram feitas por AKINYEMI (1998a) com base na análise até aqui desenvolvida, baseadas na forma como mobilidade é interpretada por alguns autores:

- a) mobilidade é, basicamente, o objetivo de “fazedores” de políticas e planejamento urbano e não uma medida de efetividade de intervenções no sistema de transporte;

- b) mobilidade é uma medida de demanda e tem pouco a ver com as características de um sistema de transporte. Como exemplo pode-se citar que variáveis, tais como o número de viagens ou o comprimento de uma viagem feita por um grupo, são claramente dependentes mais das características socioeconômicas, estilo de vida e desejos de um grupo, da estrutura e padrão de atividades de uma área, do que da performance do sistema de transporte;
- c) mobilidade é interpretada em termos de qualidade sem consideração do aspecto quantidade; e
- d) o foco está na existência e não nas características potenciais.

Tudo isto implica, ainda segundo AKINYEMI (1998a), que as interpretações e medidas de certos autores são inadequadas, tornando difícil, ao máximo, relacionar ações de engenharia ao nível de mobilidade em uma única área. Assim, pode-se concluir que as definições de certos autores não são aceitáveis para as intenções dos engenheiros e que interpretações e medidas mais apropriadas são necessárias.

Transporte e mobilidade têm se tornado conceitos-chave no moderno estado de bem-estar, tal que, eles são praticamente considerados como valores básicos na sociedade atual. Por conseguinte, taxas de mobilidade são, muitas vezes, tomadas com indicadores de performance de um sistema econômico. Contrastando à idéia de mobilidade como um indicador de bem-estar, é necessário mencionar que ao mesmo tempo aspectos negativos são proporcionados pelo aumento do movimento geográfico. Por exemplo, aumento excessivo da mobilidade causa conseqüências intoleráveis para o ambiente urbano, e resulta em aumento no consumo de combustíveis, conduz a inaceitáveis alterações no ambiente físico, enquanto que a mobilidade por automóvel vem a conflitar diretamente com outros critérios de planejamento físico (NIJKAMP & BLAAS, 1994).

Evidentemente, o pensamento de autores de países desenvolvidos tem a preocupação com a limitação da mobilidade geral e é válido para aqueles países onde geralmente a população como um todo dispõe de alta mobilidade, ao menos, por

transporte público. Este não seria o caso de países em desenvolvimento, onde os grupos de baixa renda não têm acesso necessário nem mesmo ao transporte coletivo.

Pensando em soluções para que as cidades sejam mais viáveis do ponto de vista da qualidade de vida de seus cidadãos, CARRUTHERS & LAWSON (1995) sugeriram que a mobilidade deve ser gerenciada de forma conducente para a manutenção de uma cidade sustentável, permitindo a coexistência de diferentes formas de viagens.

O conceito de mobilidade, tanto quanto o de acessibilidade, tem sido muito utilizado a partir de 1992, com a entrada em vigor do Mercado Único Europeu. Vários pesquisadores têm apresentado estudos sobre a mobilidade do *novo território* que conta com cerca de 370 milhões de habitantes (FINAT, 1996; SERRATOSA, 1996; CALVET, 1996; UBIERNA, 1996, CASTEJÓN, 1996).

### **4.3 Indicadores de mobilidade**

Tal como ocorre com os indicadores de acessibilidade, os indicadores de mobilidade não possuem um linha limitatória bem definida, no sentido de se enquadrar uma determinada medida de mobilidade neste ou naquele grupo. O que se faz, segundo vários autores, é classificar o indicador baseado em um determinado aspecto considerado mais importante, de acordo com a abordagem que está sendo feita. Dessa forma, a divisão de indicadores, aqui apresentada, foi construída levando-se em consideração aquelas apresentadas por SALES FILHO (1997) e SALES FILHO (1998).

#### **4.3.1 Indicadores de mobilidade do tipo viagens observadas**

Estes indicadores têm, em geral, características associadas a parâmetros de média de viagens diárias por pessoa. São medidas em termos de comprimento de viagem, tempo de viagem ou quantidade de viagens por pessoa. Estas medidas podem considerar dados desagregados de viagens por grupos socioeconômicos, por exemplo.

Como vantagem, foi citada por SALES FILHO (1998), que os resultados obtidos por esses indicadores são objetivos e de fácil entendimento. O aspecto limitante, por outro lado, é a inconsistência como um indicador de mudança de bem-estar.

Esses indicadores podem ser aplicados em análises de equidade urbana e qualidade de vida, embora com informações não tão conclusivas.

Este tipo de indicador foi utilizado nos trabalhos de MEYER (1984), KOUSHKI (1986), ANGELL (1989), CMSP (1990), VICENTE *et al.* (1992), POL *et al.* (1994) FORNECK & ZUCCOLOTTO (1996), DIAZ OLVERA *et al.* (1996), STEMERDING (1996), SCHAFER & VICTOR (1997), KOLLARITS (1998), MOSI *et al.* (1998), SHARMA & DIAZ OLVERA (1998), CHAPLEAU (1998), MORENO (1998), ROSS (1999), SCHAFER & VICTOR (2000) etc.

#### **4.3.2 Indicadores de mobilidade do tipo facilidade de viagens**

Estes indicadores têm, em geral, características associadas às facilidades disponibilizadas pelo sistema de transporte. São medidas em termos de estatísticas operacionais, relação do tipo *volume/capacidade*, no caso de vias. Estas medidas podem considerar a quantidade de movimento, em *passageiro x velocidade*, por exemplo.

SALES FILHO (1998) cita, como aspecto positivo desses indicadores, que os resultados obtidos por eles são objetivos e de fácil entendimento, além de necessitarem de poucos dados. O aspecto limitante, por outro lado, é o de que eles são baseados no comportamento e não potencial de efetuar o deslocamento.

#### **4.3.3 Indicadores de mobilidade do tipo potencial de viagens**

Os indicadores do tipo potencial de viagens abordam a possibilidade de ocorrência de viagens por parte dos indivíduos. São baseados nos tradicionais indicadores de acessibilidade e nas medidas de espaço-tempo.

Algumas aplicações típicas são as análises de equidade urbana e estudos de qualidade de vida das cidades.

Assim, mobilidade de viagem pode ser caracterizada como a capacidade de viajar. Além disso, dado que viagens são realizadas por um modo de transporte e viagens podem tomar lugar em distintos períodos de tempo, AKINYEMI (1998a) definiu o nível de *mobilidade global* de um grupo de pessoas durante um período de tempo, em uma determinada área, como sendo:

$$MG_t^g = \sum_m M_t^{g,m} \quad (4.1)$$

onde  $MG_t^g$  é o nível de mobilidade global de um grupo de pessoas  $g$  durante o período de tempo  $t$  em uma área; sendo  $M_t^{g,m}$  o nível de mobilidade do grupo  $g$  pelo modo de transporte  $m$  durante o período  $t$ .

O nível de mobilidade de um grupo de pessoas por um determinado modo de transporte durante um certo período é dado por:

$$M_t^{g,m} = \min[US_t^{g,m}; CP_t^m] \quad (4.2)$$

onde  $M_t^{g,m}$  é como definido acima;  $US_t^{g,m}$  representa a *usabilidade*<sup>19</sup> do modo  $m$  para o grupo  $g$  durante o período  $t$ ; e  $CP_t^m$  é a capacidade de produção da rede para o modo  $m$  durante o período  $t$ .

A formulação (4.1) implica que quanto maior for o número de modos disponíveis e a mobilidade para cada modo durante um período de tempo, maior será o nível global de mobilidade durante o período de tempo na área. A equação (4.2), por sua vez, descreve a mobilidade de viagem de um grupo por um dado modo em uma área como sendo a resultante da “usabilidade do modo pelo grupo” e a “capacidade produtiva para o modo”. Assim, o nível de mobilidade de viagem por

---

<sup>19</sup> *Usabilidade* é a capacidade de um grupo de pessoas de usar um modo de transporte durante um dado período de tempo (AKINYEMI, 1998).

um modo na área é definido pela capacidade de demanda do grupo de pessoas ou pela capacidade de oferta do sistema de transporte na área. A menor das duas possibilidades determina o nível atual de mobilidade de viagem na área.

Há que se ressaltar que a capacidade que um grupo de pessoas tem de realizar viagens por um determinado modo, depende de duas variáveis (AKINYEMI, 1998a):

- a) as características socioeconômicas e estilo de vida dos membros do grupo - as características socioeconômicas incluem o nível de renda, o tamanho e a estrutura da família, e o estilo de vida inclui a natureza das atividades desenvolvidas durante o período, que pode ser o trabalho, o estudo, compras etc. Ambas as características determinam o orçamento de viagens e o máximo tempo disponível para viagens durante um determinado período de tempo;
- b) as características da rede e serviços do modo de transporte no período de tempo especificado - a principal característica da rede que oferta a “usabilidade” é a velocidade média do modo durante o período especificado.

Um outro indicador, apresentado por AKINYEMI (1998b), propõe que o nível de mobilidade de um grupo de pessoas em uma facilidade de transporte possa ser definido em função da capacidade de viagem das pessoas e pela velocidade de viagem dessas pessoas. O nível de mobilidade em uma facilidade seria definido como:

$$PM = PTC \times PTS \quad (4.3)$$

$$PTC = \sum_l PTC(l) \quad (4.4)$$

$$PTC(l) = \sum_i [C_{VEH}(l) \times PF_i(l) \times OCC_i(l) + C_{PED}(l)] \quad (4.5)$$

$$PTS = \frac{\sum_l PTS(l)}{NL} \quad (4.6)$$

$$PTS = \frac{I}{\sum_i \frac{PF_i(l)}{S_i(l)}} \quad (4.7)$$

onde  $PTC$  é a capacidade de viagem de pessoas (em pessoas por hora);  $PTS$  é a velocidade de viagem das pessoas (km/h);  $PTC(l)$  é a capacidade da faixa  $l$  de transportar pessoas;  $PTS(l)$  é a velocidade das pessoas na faixa  $l$ ;  $C_{VEH}(l)$  e  $C_{PED}(l)$  são, respectivamente, a capacidade de tráfego veicular da faixa  $l$ ; (em veículos por hora) e capacidade de tráfego de pedestres na facilidade;  $PF_i(l)$  é a proporção de veículos do tipo  $i$  na faixa  $l$ ;  $OCC_i(l)$  é a taxa de ocupação do veículo do tipo  $i$  na faixa  $l$  e  $S_i(l)$ , a velocidade do veículo  $i$  na faixa  $l$  (em km/h).

Salienta AKINYEMI (1998b), que um ponto importante das equações 4.3 a 4.7 é que o nível de mobilidade disponibilizado por uma facilidade está relacionada às variáveis convencionais de tráfego.

#### 4.3.4 Outros indicadores de mobilidade

Existem, ainda, alguns trabalhos que consideram o número de movimentos para novas localizações de moradia de famílias, ao longo dos anos e para localização específica. Esta movimentação é motivada por aspectos, tais como: renda, crescimento no seu número de elementos, ciclo de vida da família, se ela tem casa própria ou aluga o imóvel etc. (EDWARDS, 1983; CLARK & ONAKA, 1983; OZO, 1986; BONVALET *et al.*, 1995; MAGALHÃES, 1998).

Muitos têm sido os trabalhos teóricos sobre mobilidade que não tratam especificamente de seus indicadores, dentre eles pode-se citar o trabalho de CERVERO (1988), que avalia a influência do uso misto do solo em áreas suburbanas na mobilidade das pessoas; STAHL (1987) estudou a mudança do padrão de mobilidade e o envelhecimento da população, na Suécia. ANGELL (1989) sugere que sistemas de transporte eficientes e eficazes devam ser baseados em um “mix” de opções de mobilidade por diversos modos de transportes. O estudo de POL *et al.*

(1994) avalia como as políticas de mobilidade, na Holanda, proporcionam as oportunidades de participação no trabalho e outras atividades, para homens e mulheres.

A mobilidade residencial das minorias étnicas foi estudada por BONVALET *et al.* (1995), tendo como objeto as grandes cidades francesas. Um trabalho bastante interessante foi o desenvolvido por HAMBURG *et al.* (1995), que procura debater a mobilidade como um direito do cidadão, tal como o direito à vida, à liberdade, garantidos a todos os americanos.

Alguns são os autores que têm feito uso da ferramenta computacional Sistema de Informações Geográficas - SIG para representação e análises de mobilidade, dentre eles pode-se citar KOLLARITS (1998) e CHAPLEAU (1998).

#### **4.4 Grupos com menor mobilidade**

Nas situações onde os indivíduos são tanto idosos e/ou incapazes de dirigir um automóvel ou com renda insuficiente para comprá-lo, o alto nível de mobilidade propiciado pelo automóvel não se aplica. Contudo, a distribuição espacial das atividades urbanas (como visto no Capítulo 2) tem sido fortemente influenciada pelo uso do automóvel e, dessa maneira, essas atividades exigem alguma forma de veículo para o transporte.

Para HANSON (1995), nem todos os residentes urbanos desfrutam o alto nível de mobilidade que a cidade contemporânea exige para a condução da vida diária de cada cidadão. Pessoas sem acesso ao automóvel são provavelmente carentes de mobilidade necessária para chegar aos locais de trabalho ou outros locais onde poderiam desenvolver atividades. De fato, pessoas de baixa renda viajam significativamente menos do que pessoas com alta renda (ver item 4.7).

Três grupos são identificados por MEYER (1984) como tendo sérias dificuldades para se beneficiar das vantagens totais propiciadas pelo uso do automóvel: os idosos, os deficientes e os pobres. MEYER ainda aponta algumas desvantagens comuns a esse grupo:

- a) não possuir automóvel ou não pode dirigir porque são pobres (também apontadas por PIPKIN, 1995) ou fisicamente incapazes;
- b) moram, muitas vezes, em áreas que são pouco servidas por transporte coletivo;
- c) para muitos, particularmente os idosos (também citada por PIPKIN, 1995) e deficientes, o transporte, quando disponível, não atende às necessidades pessoais; e
- d) podem se defrontar com sérios problemas de projeto físico de veículos e facilidades, que os desencorajam de realizar viagens.

Os dados da Região Metropolitana de São Paulo, de 1997, apresentados por CMSP (1998), comprovam as dificuldades segundo os grupos. Os idosos, acima de 60 anos, possuem mobilidade de 1,08 viagens por dia; entre 50 e 60 anos, 1,76; de 30 a 40 anos, 2,57, enquanto que os grupos mais novos - entre 18 e 30 anos - têm mobilidades de 2,51 viagens por dia. Os grupos com maior instrução também maiores mobilidades: com escolaridade superior completa, 2,99 viagens por dia; com 2º grau completo e superior incompleto, 2,48; com 1º grau completo e 2º grau incompleto, 2,12; e as pessoas analfabetas ou com 1º grau incompleto, apenas 1,54. As pessoas do sexo masculino, por sua vez, têm maior mobilidade que as do sexo feminino, com índices, respectivamente, 2,02 e 1,73.

BLACK (1995) cita, além daqueles problemas apontados por MEYER (1984), as pessoas que mesmo tendo condições de adquirir um automóvel, não o fazem pelos mais diversos motivos. Um outro grupo que sofre restrições de mobilidade é o das mulheres, de acordo com o entendimento de FORNECK & ZUCCOLOTTO (1996), DIAZ OLVERA *et al.* (1996), DIAZ OLVERA *et al.* (1998), SHARMA & GUPTA (1998) e FORNECK, 1998.

DIAZ OLVERA *et al.* (1998) constataram comparando dados de duas cidades da região da África Sub-Sahariana, Bamako e Ouagadougou, que as mulheres têm níveis de mobilidade inferiores aos dos homens. Em Bamako, os fazem cerca de 3,7 viagens por dia, enquanto que as mulheres, somente 2,4; Em Ouagadougou, os

índices são, respectivamente, 4,4 e 3,2. SHARMA & GUPTA (1998), por sua vez, apontam taxas globais de mobilidade ligeiramente diferentes – por todos os modos, em 1990 - para a cidade indiana de Delhi: homens, 1,13 viagens por dia e mulheres, 1,07. Os homens faziam cerca de 50% do total de viagens por modos privados, enquanto que as mulheres, apenas 19%; por ônibus, as mulheres faziam 58% de suas viagens diárias, sendo que os homens, somente 38%.

Os problemas de mobilidade dos grupos de baixa renda, dos idosos e deficientes merecem, segundo MEYER (1984), especial atenção no processo de planejamento dos transportes. Investimentos em transportes podem ser um meio para proporcionar mobilidade para os mais pobres, os idosos e os portadores de deficiência física (FIELDING, 1995).

Apesar de todos estes problemas relacionados com a exclusão de mobilidade para estes grupos sociais serem de significativa importância, este trabalho abordará, de maneira precípua, a falta de mobilidade dos grupos de baixa renda.

#### **4.5. Mobilidade dos grupos de baixa renda**

A questão das condições de mobilidade da população urbana mais pobre tem sido uma preocupação permanente, inclusive do Banco Mundial, no esforço da luta contra a pobreza. Particularmente, esse esforço serve para questionar o impacto de políticas de transporte urbano nas camadas mais pobres da população. A mobilidade urbana é um fator de riqueza e desenvolvimento e merece ser implementada, particularmente nos países mais pobres (GODARD, 1998).

Para uma maior compreensão da mobilidade dos grupos de baixa renda, é conveniente que se discorra, inicialmente, sobre as bases do movimento de pessoas dentro de um sistema urbano, que serão apresentadas na próxima seção.

##### **4.5.1 As dificuldades de deslocamento dos grupos de baixa renda**

Numerosos estudos mostram que a mobilidade dos setores populares depende literalmente do transporte coletivo para vincular as suas atividades domésticas com

outras atividades consideradas indispensáveis à sobrevivência da família (PACHECO<sup>20</sup> in FORNECK, 1998). Suas necessidades de deslocamento, quando não dirigidas especificamente ao trabalho, tornam-se proibitivas, tais como fazer compras, frequentar espaços públicos de recreação e lazer etc. (FORNECK, 1998)

O número de pessoas que não possuem alternativa de utilização do transporte coletivo urbano tem crescido consideravelmente, representando, com isso, um aumento das carências das faixas de população de menor renda. Isto demonstra que as pessoas desta faixa de rendimentos têm ficado à margem de um serviço público - transporte - que é essencial para o bem estar desses indivíduos. Para BOTELHO & FORTES (1994, p.417), “a oportunidade de mobilidade é um importante indicador da qualidade de vida”.

A mobilidade dos trabalhadores de uma cidade, segundo BOTELHO & FORTES (1994), é determinada pela relação entre o mercado de trabalho e o mercado da habitação, além dos modos de transportes disponíveis. Assim, as estratégias usadas pelos grupos de baixa renda para enfrentar a degradação de suas condições de vida e os constantes aumentos nas passagens do transporte coletivo estão em relação direta com suas atividades econômicas, com a moradia e com os serviços de transportes colocados à disposição.

Resultado de uma combinação de fatores, tais como a necessidade de percorrer grandes distâncias, falta de segurança e ausência de acesso ao transporte público, os grupos urbanos de baixa renda se tornaram incrivelmente sem mobilidade. Uma pesquisa domiciliar realizada em Nairobi (Kenya) mostrou uma taxa de mobilidade de 2,4 viagens por dia por pessoa, considerada baixa quando comparada com padrões internacionais. A Holanda apresentou em 1996, por exemplo, a taxa de mobilidade de 3,5 viagens por dia, considerando todos os modos (KOSTER & LANGEN, 1998).

---

<sup>20</sup> PACHECO, R.V.M. (1995). *L'Offre de transporte dans la zone est de la Região Metropolitana de São Paulo*. Paris. Thèse de Doctorat apud FORNECK (1998).

Não só o deslocamento para o trabalho é um direito do cidadão, em geral, particularmente o de menor renda. Ele deve também ter acesso às viagens com outros objetivos: de lazer, estudo, religioso, compras etc.

Em face a tantas dificuldades, esses grupos muitas vezes deixam de utilizar o transporte público, procurando, desde que possível, morar próximos aos locais de trabalho. Existe a alternativa de usar modos de transporte não motorizados, como a bicicleta e mesmo andar a pé. Nas cidades menores e com condições topográficas favoráveis, a bicicleta pode ser uma boa alternativa, assim como andar a pé por períodos que não extrapolem a 30 minutos. As caminhadas a pé, mesmo para distâncias maiores têm aumentado, principalmente em grandes cidades.

Muitas das preocupações com aspectos de equidade em transportes, em anos recentes, têm sido relacionadas aos aspectos de mobilidade e custos de viagem para grupos de baixa renda. Essas preocupações são importantes porque esses grupos, na maioria das vezes, não têm acesso ao automóvel e, dessa forma, necessitam do transporte público ou outros meios para a sua mobilidade. Para PINHEIRO (1994, p.413), as “carências na mobilidade têm peso considerável na conformação das condições de vida dos segmentos mais desprivilegiados”.

A mobilidade dos grupos urbanos de baixa renda tem sido um assunto de contínuo interesse e debate nas cidades de países em desenvolvimento. É evidente que o aumento dos “buracos” na oferta de infra-estrutura, em geral, e em particular no transporte são mais relevantes para os grupos de baixa renda, uma vez que eles têm recursos financeiros limitados para suplantá-los. Esses grupos, essencialmente confinados em seus bairros, têm seu potencial limitado para explorar as oportunidades que a cidade oferece para seu crescimento e desenvolvimento (SHARMA & DIAZ OLVERA, 1998).

As políticas sociais integram de forma dinâmica a estratégia de reestruturação da produção, pois uma política eficiente de combate à pobreza consiste em proporcionar aos grupos mais pobres o acesso às atividades econômicas,

possibilitando a sua habilitação como partícipes produtivos da economia (PINHEIRO, 1996).

É claro o entendimento de que o transporte coletivo é uma das áreas com forte vinculação e articulação com os demais setores que conformam as condições de vida do cidadão, tornando viável a mobilidade urbana, proporcionando acesso aos equipamentos de saúde, educação, sociais, de lazer, além de acesso a empregos (PINHEIRO, 1996).

Em estudos desenvolvidos em cidades da Índia e África, SHARMA & DIAZ OLVERA (1998) concluíram que o nível de mobilidade e suas características qualitativas dependem não somente da oferta de transporte público, acesso a um veículo próprio, mas também da organização social, cultural e econômica da sociedade. A solução deste problema, em países em desenvolvimento, vai além de uma mera provisão de transporte público, necessitando que as cidades resolvam seus problemas de iniquidade e imobilidade dos grupos mais pobres.

A grande porcentagem de viagens a pé, em grande parte, é resultado das carências da população de baixa renda e, portanto, mais um item que contribui para a sua marginalização. Dessa forma, a mobilidade urbana, dia após dia, transforma-se em um fator de redução da qualidade de vida dos grupos de baixa renda. A viagem a pé, que poderia ser um modo de transporte de qualidade até razoável, é, para grande parcela da população, “uma prática de sacrifício devido ao comprimento dos deslocamentos e às precárias condições de percurso” (BOTELHO & FORTES, 1996, p.863).

O planejamento de transporte necessita levar em conta três aspectos relacionados aos deslocamentos a pé (BOTELHO & FORTES, 1996): i) dificuldades financeiras que restringem o acesso dos grupos de baixa renda ao transporte motorizado; ii) a qualidade do transporte disponibilizado; e iii) inexistência de infraestrutura e prioridade para o pedestre no espaço das cidades.

Por conseguinte, a melhoria das condições de vida da maioria da população está fortemente associada à maneira como os aspectos acima serão tratados, já que a

mobilidade é uma questão muito importante para que os cidadãos se libertem das “amarras da pobreza” (BOTELHO & FORTES, 1996).

#### 4.5.2 Mobilidade em cidades brasileiras

Um levantamento realizado por Geipot apud ANTP (1989) apresentou as taxas de mobilidades em regiões metropolitanas, capitais e cidades de porte médio brasileiras e o quanto essas mobilidades representam quando comparadas com a taxa média mundial, em 1980. A mobilidade média brasileira era cerca de 68% da média mundial. Para as cidades médias, essa relação é de 87% da taxa média mundial. O Quadro 4.1 traz esses dados. ANTP (1989) não foi muito clara se os dados da mobilidade são relativos à mobilidade *geral* ou *motorizada*; acredita-se que seja a *geral*, pois, para o caso da RMSP, o dado da previsão para 1990 (1,7 viagens/habitante/dia) está bem próximo do dado real 1,8 viagens/habitante/dia (mobilidade geral) medido em 1987 e apresentado por CMSP (1990).

**Quadro 4.1 - Taxa de mobilidade de tipos de aglomerados urbanos brasileiros e a média mundial**

Tipos de Aglomerados	Mobilidade geral (viagens/habitante/dia)			% da média mundial <sup>2</sup>
	1980	1990 <sup>1</sup>	2000 <sup>1</sup>	
Urbanos				
Regiões Metropolitanas	1,3	1,7	1,8	63
Demais Capitais	1,5	1,6	1,7	73
Cidades Médio Porte <sup>3</sup>	1,8	2,1	2,2	87
Média	1,4	1,7	1,8	68

<sup>1</sup>Previsão feita na época; <sup>2</sup>Dados de 1980; <sup>3</sup>Cidades com população urbana no distrito-sede acima de 100 mil habitantes

Fonte: GEIPOT apud ANTP (1989)

Observa-se que a taxa de mobilidade diminui a medida que o aglomerado urbano aumenta. Dessa forma, em 1980, a taxa de mobilidade em cidades de médio porte era cerca de 38% maior que nas Regiões Metropolitanas, e 20% mais alta que

nas demais capitais brasileiras. A partir dos anos 80, as cidades médias sofreram, tal como ocorreu na maioria das cidades brasileiras, um processo de empobrecimento das classes de baixa renda e espalhamento exagerado da mancha urbana, o que pode fazer com que a taxa de mobilização prevista para 1990 não tenha sido a esperada e que a previsão para a virada do século seja ainda mais pessimista.

Os estudos e pesquisas desenvolvidos na região da Grande São Paulo, maior aglomerado urbano do Brasil, mostram a gravidade com que os grupos de menor renda se deparam para desenvolver suas atividades diárias, decorrentes de suas baixas mobilidades.

O levantamento dos índices de mobilidade de diferentes classes de renda mensal média familiar na RM de São Paulo obedeceu a diferentes metodologias para 1977 e para os anos 1987 e 1997. O Quadro 4.2 mostra os índices de mobilidade obtidos na medição realizada em 1977 e o Quadro 4.3, as medições de 1987 e 1997.

**Quadro 4.2 - Índice de mobilidade de diferentes classes de renda mensal média familiar na RM de São Paulo para 1977**

Renda Familiar Mensal (em SM <sup>1</sup> de set. 1977)	Classe Renda	Mobilidade <sup>2</sup>	Variação (%)
até 4	1	0,81	-
de 4 a 8	2	1,33	64,2
de 8 a 15	3	1,68	26,3
de 15 a 30	4	2,23	32,7
Acima de 30	5	2,50	12,1

<sup>1</sup> SM de setembro 1977 = Cz\$4.651    <sup>2</sup> Viagens motorizadas por pessoa por dia

Fonte: CMSP (1990)

Nas medições realizadas em 1977 constata-se a grande disparidade de taxas de mobilidades que havia entre as classes de renda 1 e 2; a taxa da segunda classe era

mais de 64% maior que a primeira, que tinha uma taxa extremamente baixa. As diferenças entre as classes seguinte eram menores e mais homogêneas.

**Quadro 4.3 - Índice de mobilidade de diferentes classes de renda mensal média familiar na RM de São Paulo para 1987 e 1997**

Renda Familiar Mensal (em R\$)	Classe Renda	Mobilidade <sup>1</sup> em 1987	Variação (%)	Mobilidade <sup>1</sup> em 1997	Variação (%)
até 250	1	1,33	-	1,16	-
de 250 a 500	2	1,63	22,6	1,47	26,7
de 500 a 1.000	3	1,95	19,6	1,76	19,7
de 1.000 a 1.800	4	2,31	18,5	2,07	17,6
de 1.800 a 3.600	5	2,65	14,7	2,34	13,0
acima de 3.600	6	3,08	16,2	2,64	12,8

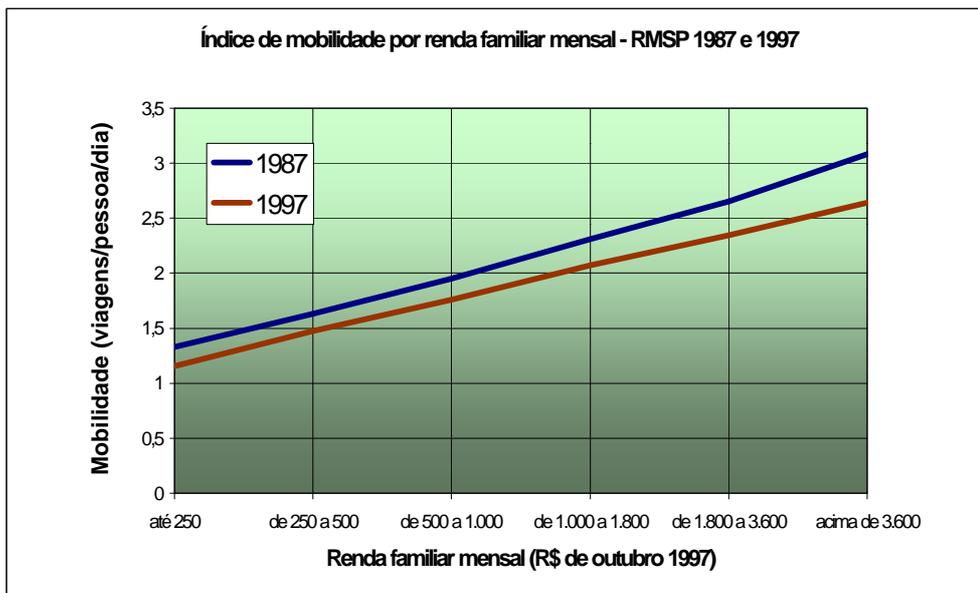
<sup>1</sup> Viagens motorizadas por pessoa por dia

Fonte: CMSP (1998)

As taxas de mobilidade do paulistano em 1987 e 1997, representadas em viagens motorizadas por pessoa por dia, apresentaram grande disparidade entre as classes de renda mais baixa e mais alta. A mobilidade da classe 1, a de mais baixa renda, teve a sua mobilidade reduzida, em 1997, para 87% do que tinha em 1987. O maior diferencial entre as taxas de mobilidade ocorre justamente entre a classe 2 e a classe 1: em 1987 a classe 2 tinha quase 23% mais mobilidade que a classe 1; em 1997, a diferença passa para quase 27%. A Figura 4.1 permite visualizar claramente que quanto menor a renda menor a mobilidade. As taxas dos grupos de renda mais altas chegam a ser o dobro dos grupos de menor renda, tanto em 1987 como em 1997, embora nesta última houvesse uma queda geral das taxas de mobilidade para todas as classes de renda. A Figura 4.2 permite visualizar a evolução da mobilidade motorizada na RMSP desde 1967 até 1997. Esta mobilidade vem decaindo gradativamente desde 1977.

As conclusões do Relatório de Pesquisa sobre Aferição da Mobilidade na Região Metropolitana de São Paulo, encomendada pela Companhia do

Metropolitano, apontaram que 13,2 milhões das 34,3 milhões de viagens diárias realizadas, são feitas a pé. Isto representa um crescimento de 24% em relação às viagens realizadas na pesquisa Origem/Destino do Metrô, em 1987. As viagens pelo transporte coletivo e transporte individual cresceram bem menos, respectivamente, 13% e 11% (GALLUP, 1993).



**Figura 4.1 – Índice de mobilidade por renda familiar mensal (RMSP - 87 e 97)**

Para se ter uma imagem mais clara do quadro existente em São Paulo, pode-se citar o caso da região de Madri, capital de um país considerado de primeiro mundo. Nesta cidade, a taxa de mobilidade é de 2,1 viagens por dia (dados de 1996), bem maior que a taxa obtida em São Paulo que, em 1997, foi de 1,23 viagens por habitante por dia (MORENO, 1998). O Quadro 4.4 apresenta a taxa de mobilidade de várias cidades de países em desenvolvimento.

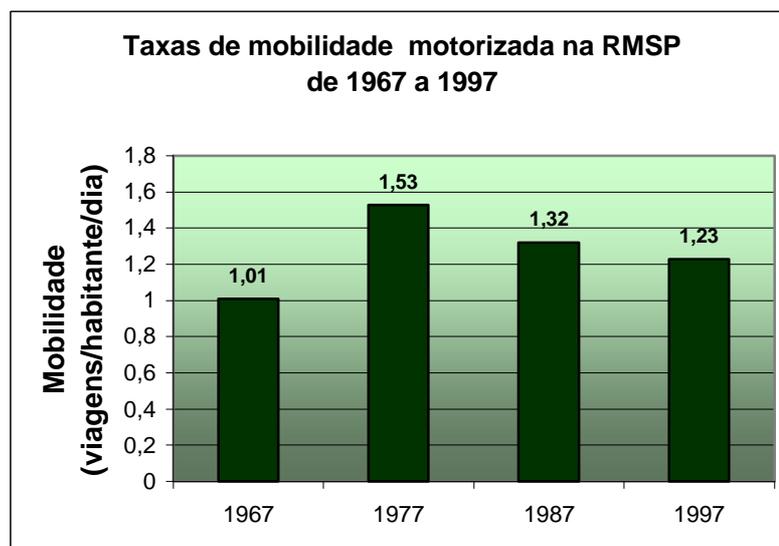


Figura 4.2 – Evolução da taxa de mobilidade motorizada na RMSP de 67 a 97

**Quadro 4.4 - Taxa de mobilidade de cidades de países em desenvolvimento**

Cidades	Taxa mobilidade (viag/pessoa/dia)	Cidades	Taxa mobilidade (viag/pessoa/dia)
Havana <sup>a</sup>	1,8	Caracas	1,3
Seul	1,8	Buenos Aires	1,3
Cidade do México	1,7	Bangkok	1,0
Kuala Lumpur	1,6	Bogotá	1,0
São Paulo	1,5	Bombay	0,8
Singapura	1,4	Jakarta	0,7
Hong Kong	1,4	Cairo	0,6

Fonte: W. BANK<sup>21</sup> apud DIMITRIOU (1990); MAGDALENO *et al.* (1999); <sup>a</sup>ARIAS *et al.* (1999)

<sup>21</sup> WORLD BANK (1986). *Urban Transport*. A World Bank Policy Study. IBRD. Washington, DC.

## 5. ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE

*Apresenta-se neste capítulo, inicialmente, como os conceitos de acessibilidade e mobilidade, no entender de diversos autores, se complementam e a importância de sua consideração conjunta. A seguir, estão indicadas algumas poucas metodologias que realmente conseguiram associar os dois conceitos.*

Os capítulos 2, 3 e 4 apresentaram de maneira clara – ao menos é o que se pretendia - a importância dos conceitos acessibilidade e mobilidade no mundo contemporâneo. Os relatos de países industrializados, devido aos seus níveis de riqueza e disponibilidade de recursos, trouxeram o pensamento atual de muitos órgãos, de transporte ou não, públicos ou privados, em se adotar programas de restrição ao deslocamento, tais como o gerenciamento da mobilidade ou redução de viagens etc., no sentido de tornar suas cidades, regiões ou mesmo países ambientalmente mais sustentáveis. O que parece ser correto.

Este é o caso do The Citizen Transportation Plan for Northeastern Illinois, que procura contestar o excesso de mobilidade dos americanos. Para ele, por décadas, os investimentos e planejamento de transporte definiram mobilidade como a capacidade de se locomover com liberdade por toda a região e no país. Para isto, procurou-se sempre mais garantir que o melhor modo para obtê-la é o automóvel. Ironicamente, promovendo esta mobilidade causou-se uma saturação da malha, limitando as opções de deslocamento (CNT, 1999).

No outro lado, estão os países do Terceiro Mundo ou em Desenvolvimento, onde a preocupação pode ser direcionada para os grupos que têm seríssimas restrições de mobilidade, particularmente (nos grupos de baixa renda) pela falta de oferta dos sistemas públicos de transportes e, principalmente, pela ausência de

recursos nos seus orçamentos para o pagamento das tarifas, quase sempre muito elevadas e incompatíveis com os seus ganhos. Para esses, ou falta o transporte ou quando ele está disponível, não se pode pagar para utilizá-lo. A constatação é inevitável: a “mobilidade e acessibilidade estão declinando rapidamente em grande parte do mundo em desenvolvimento” (GAKENHEIMER, 1999, p.671).

Em geral, as autoridades de planejamento urbano e transporte, nos países em desenvolvimento, consideram atendida a população que tem disponibilizado o sistema de transporte a uma distância razoável de sua residência, trabalho, lazer etc.

Dessa forma, neste capítulo, pretende-se reforçar a necessidade de se planejar estrategicamente o transporte levando-se em consideração, simultaneamente, tanto aspectos relacionados à provisão de acessibilidade quanto às condições de mobilidade de grupos sociais, pois acredita-se que esses conceitos se complementam.

### **5.1 Acessibilidade e mobilidade: conceitos que se complementam**

Apesar de alguns autores ainda confundirem os termos acessibilidade e mobilidade, e outros que não fazem a sua distinção, como é o caso de BLACK (1995), as explanações apresentadas nos capítulos 2 e 4 tiveram também como objetivo, o de tornar mais clara a sua diferenciação e complementaridade.

O interesse de profissionais de transporte pelos aspectos relacionados à mobilidade e acessibilidade em áreas urbanas tem aumentado significativamente, especialmente nos últimos dez anos. Isto parece ser devido ao aumento da consciência das relações entre mobilidade, acessibilidade e qualidade de vida em áreas urbanas (AKINYEMI, 1998). Afinal, os conceitos de acessibilidade e mobilidade são fundamentais para as atividades de planejamento urbano e de transportes (ROSS, 1999).

Para LINDEMANN *et al.* (1998), os conceitos de acessibilidade e mobilidade, em vários casos, se confundem, principalmente quando os dois estão relacionados tão somente com a facilidade de deslocamento. No entanto, na maioria dos casos, outras variáveis além da facilidade ou dificuldade de deslocamento são

associadas tanto na quantificação da acessibilidade quanto da mobilidade. Na primeira, as variáveis associadas se relacionam à aspectos espaciais de distribuição de atividades; no segundo, as variáveis estão associadas com as características sócioeconômicas da pessoa que realiza o deslocamento.

A importância da mobilidade, associada à acessibilidade, é destacada por REYES (1996), quando ressalta que ambas fazem parte de um componente estratégico do desenvolvimento produtivo e na conformação física de uma cidade. Para HANSON (1995, p.4), “dois conceitos que são centrais para se entender o transporte são acessibilidade e mobilidade”. A autora fornece definições que tentam eliminar qualquer confusão sobre os dois assuntos: *acessibilidade* se refere ao número de oportunidades, também chamado de local de atividades, disponível dentro de uma certa distância ou tempo de viagem; *mobilidade* se refere à capacidade para se mover entre diferentes locais de atividades. Para MORRIS *et al.* (1979, p.92), “mobilidade e acessibilidade *juntas* influenciam a capacidade do indivíduo de viajar na vida diária”.

Ainda para HANSON (1995), a meta do planejamento de transporte tem sido aumentar a mobilidade das pessoas, às vezes comparando o aumento de mobilidade com o aumento da acessibilidade. Planejadores e fazedores de políticas reconhecem, entretanto, que por meio do planejamento do uso do solo, principalmente através do adensamento de uma região, por exemplo, a acessibilidade pode ser melhorada mantendo a mobilidade existente.

A mobilidade está intimamente ligada ao conceito de acessibilidade entre zonas e a oferta e demanda de transporte. A acessibilidade pode ser vista como uma medida de mobilidade existente entre zonas. Por outro lado, a interação entre oferta e demanda de transporte dá lugar ao fenômeno da mobilidade (FERRANDIZ, 1990). Assim, a função básica de alguma facilidade de transporte, de forma geral, é dispor de acessibilidade e mobilidade para os seus usuários (SATHISAN & SRINIVASAN, 1998).

A avaliação conjunta dos conceitos de mobilidade e acessibilidade é essencial nas políticas urbanas, segundo PINHEIRO (1994). O leque de oportunidades oferecidas ao cidadão, que define a qualidade e a densidade do seu inserimento urbano, é delimitado principalmente pelos seus recursos pessoais, tais como capacidade física e econômica (aspectos da mobilidade) e a disponibilidade de infraestrutura, incluindo, dentre outras, a rede de transporte coletivo (aspecto de acessibilidade), na concepção de PINHEIRO (1994).

Não é suficiente simplesmente oferecer à população uma determinada infraestrutura urbana, neste caso o transporte, portanto acessibilidade, afirma JOAQUIM (1999), mas é igualmente necessário assegurar a adequação efetiva dos recursos disponíveis às possibilidades do usuário (mobilidade).

A acessibilidade é construída historicamente e de forma desigual no sistema urbano pelos fluxos sociais, econômicos e políticos, os quais também são responsáveis pelas redes de transportes e comunicações. É necessário ressaltar que a mobilidade urbana de diferentes grupos sociais é materializada em função dos variados níveis de acessibilidade existentes, configurados temporalmente pelas redes de transportes (DELGADO, 1995).

A grande importância dos dois conceitos é enfatizada por WACHS & KUMAGAI (1973), quando afirmam que o estabelecimento de metas nacionais, o processo de planejamento urbano e regional devem incluir itens relacionados à acessibilidade física, mobilidade, ou facilidade de movimento. Salientam ainda, que a mobilidade e acessibilidade da população devem se constituir uma preocupação das políticas e investimentos públicos.

Mobilidade e acessibilidade são fatores que influenciam conjuntamente a capacidade do cidadão realizar as atividades que preenchem as condições necessária à vida. Nesse enfoque se identificam como aspectos da qualidade de vida urbana, na proporção que, juntos, tornam viáveis o inserimento do cidadão na reprodução social (JOAQUIM, 1999).

Críticas são endereçadas por HANSON (1995) aos indicadores de acessibilidade do tipo “oportunidades”, tais como o de HANSEN (1959), pelo fato de que eles não incorporam parâmetros de mobilidade e nem a capacidade de se atingir lugares em diferentes momentos do dia. Para isso, propõe um medida do tipo *autonomia espaço-tempo*, que no entanto, não considera aspectos da mobilidade que traduzem a capacidade de uma pessoa ou grupo de pessoas de pagar para realizar seus deslocamentos.

WACHS & KOENIG (1979) comentam que talvez não fossem necessários os dois conceitos distintos - acessibilidade e mobilidade - já que possuem algo em comum, no entanto, vão além ao sugerir que os dois conceitos poderiam ser fundidos ou combinados. A capacidade para usar um modo de transporte (mobilidade) não é uma medida útil a não ser que destinos desejados possam ser atingidos por aqueles modos; e de modo recíproco, acesso para satisfazer destinos por um dado modo se torna sem sentido se este modo não é acessível ao “viajante” potencial.

ROSS (1999) é ainda mais enfático: apesar de os termos mobilidade e acessibilidade serem de uso comum, a filosofia adjacente às suas aplicações não está claramente entendida, permanecendo a dificuldade de definí-las de forma a tornar possível quantificá-las.

Assim, afirmam WACHS & KOENIG (1979), apesar de as medidas de acessibilidade de diversos tipos estarem disponíveis e já terem contribuído de maneira significativa para a avaliação de alternativas de transportes e análises de políticas de localização de facilidades, o tema medidas de acessibilidade e mobilidade existentes permanecem incompletas e imperfeitas, e há, portanto, um passo importante a ser dado no desenvolvimento do assunto. Embora a colocação desses dois autores já ter mais de vinte anos, o assunto parece não estar ainda solucionado, apesar de algumas tentativas terem sido empreendidas, ainda que de forma tênue e tímida, como pode ser constatadas no tópico a seguir.

## **5.2 Abordagens que associam os conceitos de mobilidade e acessibilidade conjuntamente**

Este grupo de indicadores procuram levar em consideração, na análise de acessibilidade, um aspecto bastante importante no planejamento de transporte, ou seja, o conceito de mobilidade.

Para AKINYEMI (1998), os indicadores de acessibilidade existentes, em geral, não relacionam adequadamente e/ou explicitamente análises que envolvam conjuntamente os conceitos de acessibilidade e mobilidade. A acessibilidade é tratada como se ela não fosse relacionada à mobilidade. É também este o pensamento de WACHS & KOENIG (1979) e TAGORE & SIKDAR (1995). Para estes últimos, uma integração mais próxima de considerações de mobilidade e acessibilidade em planejamento dos transportes é necessária.

Os trabalhos de DALVI (1979), WACHS & KOENIG (1979), HOLM (1997), embora não associem matematicamente os conceitos de acessibilidade e mobilidade, procuram levar em consideração em suas análises, além de indicadores de acessibilidade, abordagens incluindo o conceito de mobilidade.

O indicador de acessibilidade denominado *autonomia espaço-tempo*, citado por HANSON (1995), tal como o desenvolvido pelo sueco T. Hagerstrand (comentado no Capítulo 4), não deixa de considerar a mobilidade da pessoa, uma vez que leva em conta restrições de mobilidade causadas pelo espaço e pelo tempo.

O trabalho de ROSS (1999) investiga as relações entre acessibilidade e mobilidade. No entanto, o conceito mobilidade neste estudo é tomado como sendo a quantidade de viagens, medida como sendo o total de veículos-quilômetros viajados anualmente. Defende ainda o autor, que a “mobilidade” por meio de modos coletivos deve prevalecer sobre a “mobilidade” conseguida por modos individuais.

Apesar dos conceitos de acessibilidade e mobilidade serem muito utilizados individualmente e de terem grande importância no planejamento de transportes, poucos são os pesquisadores que os consideram de forma conjunta. WACHS &

KOENIG (1979), TAGORE & SIKDAR (1995) e AKINYEMI (1998) foram enfáticos na significância do uso conjunto dos conceitos acessibilidade-mobilidade, porém, considerando uma quantidade razoável de trabalhos consultados, apenas TAGORE & SIKDAR (1995) apresentaram uma medida conjunta.

TAGORE & SIKDAR (1995) propuseram uma nova medida de acessibilidade, que é similar à versão normalizada do tipo gravitacional de Hansen, mas que inclui uma variável que representa a mobilidade para grupos de pessoas, em conjunto com uma medida de atividade potencial e facilidade de interação. A medida tem a seguinte formulação:

$$A_i = \frac{\sum_j S_j f(t_{ij}) \cdot \exp(\gamma \cdot M_i)}{\sum_j S_j} \quad (5.1)$$

onde  $A_i$  é a medida de acessibilidade da zona  $i$ ;  $S_j$  é o tamanho da atividade na zona  $j$ ;  $f(t_{ij})$  é a função impedância;  $\gamma$  é o coeficiente de mobilidade, e  $M_i$  é o nível de mobilidade da zona  $i$ . Para a quantificação da mobilidade, TAGORE & SIKDAR (1995) usaram cinco variáveis: disponibilidade de ônibus, disponibilidade de trem, renda da família, densidade da rede de transporte público e número de estações de trem existentes na zona considerada. Estas variáveis da mobilidade foram então normalizadas dividindo-se a frequência de ocorrência da variável pelo total de frequência na área em estudo. Foi representado matematicamente, como mostrado na Equação 5.2:

$$m_k^i = \frac{F_i^k}{\sum_i F_i^k} \quad (5.2)$$

onde  $m_k^i$  é a mobilidade normalizada para o parâmetro  $k$  para a zona  $i$ ;  $F_i^k$  é a frequência de ocorrência do parâmetro  $k$  na zona  $i$ . Esta normalização foi necessária para conduzir o parâmetro individual para uma escala comum. Assim, a mobilidade é

tomada como sendo a soma dos valores normalizados dessas variáveis, como mostrado na Equação 5.3.

$$M_i = \sum_k m_i^k \quad (5.3)$$

No entanto, ainda que houvesse um avanço no sentido de se associar mobilidade no indicador de acessibilidade, os resultados dessa aplicação para a cidade indiana de Bombay (hoje Mumbai), foram ainda muito tímidos para retratar o suposto peso da mobilidade das pessoas na capacidade de realizar viagens.

Em geral, os técnicos em transportes e administradores municipais, por exemplo, consideram atendidas as pessoas que moram em determinados bairros que tenham disponibilizados linhas de ônibus que fazem parte de um sistema de transporte público por ônibus. Este raciocínio pode ser válido quando se considera cidades de países desenvolvidos, cujos habitantes dispõem, em geral, de mínimas condições financeiras para utilizar o sistema de transporte.

Como as metodologias de planejamento estratégico e análises de transporte usadas em países em desenvolvimento são, quase sempre, originárias ou derivadas de estudos desenvolvidos em países mais adiantados, acabam sendo utilizadas sem as devidas adaptações e considerações às realidades locais. Isto acaba resultando na exclusão de determinados grupos, tais como: deficientes físicos, grupos de baixa renda, pessoas idosas etc., no processo de reprodução social.

## 6. REDES NEURAI, SIG E FONTES DE DADOS

*A primeira seção deste capítulo consta de uma introdução sobre Inteligência Artificial, um breve histórico com relação às Redes Neurais Artificiais e uma revisão das aplicações da técnica na Engenharia de Transportes. A seguir, será apresentado o modelo de Rede Neural a ser utilizado neste estudo. A seção posterior fará um relato breve sobre Sistema de Informações Geográficas, ferramenta que também será utilizada neste trabalho. Por fim, na última seção, será feita uma revisão conceitual sobre fontes de dados para aplicação em planejamento de transportes e, de forma particular, aquela será uma das principais fontes de dados a serem aqui utilizados: a pesquisa O-D.*

### 6.1 Inteligência Artificial

Pode-se considerar que a fase de desenvolvimento dos sistemas inteligentes coincide com o objetivo que o homem tem de tentar reproduzir, através de máquinas, o comportamento e capacidades do ser humano.

Os computadores convencionais, em sua maioria, possuem uma arquitetura da qual fazem parte: uma unidade central de processamento e uma área de memória, operando interligadas. O processador, de sua parte, executa seqüencialmente um determinado programa que esteja armazenado em sua memória. Dessa forma, esses computadores convencionais são capazes de executar tarefas para as quais eles foram programados.

Os neurocomputadores, por outro lado, buscam modelar a estrutura do cérebro do homem, bem como a forma pela qual ele é capaz de processar

informações. Para atingir este objetivo, é preciso de uma estrutura computacional diferente, que, tal como o cérebro do homem, possua uma grande quantidade de unidades de processamento altamente conectadas, operando de forma paralela (BRONDINO, 1999).

Não é verdade que o computador esteja sempre em condições inferiores em relação ao cérebro humano; existem condições em que a máquina é capaz de fazer tarefas de forma mais rápida que o cérebro humano. Realizar uma operação matemática, por exemplo, é feita de maneira muito mais rápida pelo computador do que o homem; já, reconhecer uma imagem ou um som é uma atividade que o cérebro humano é capaz de fazer de forma muito mais rápida.

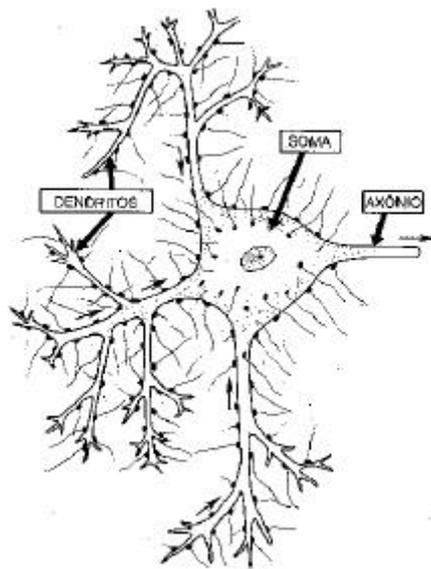
O cérebro humano pode ser definido como um computador, segundo HAYKIN (1994), composto por uma estrutura de grande complexidade, não linear e paralela, que tem a capacidade de organizar os neurônios para a execução de determinados tipos de tarefas. É justamente este paralelismo apresentado pelo cérebro do homem que o torna capaz de armazenar e representar o conhecimento adquirido, bem como torná-lo minimamente acessível. Esta condição de paralelismo permite ao cérebro processar este conhecido adquirido, segundo BEALE & JACKSON (1990).

A maneira com que o cérebro humano consegue executar determinadas tarefas é ainda pouco conhecida, o que dificulta que ele seja sintetizado. Sabe-se, no entanto, que ele é formado por diversas unidades de processamento altamente interconectadas, os neurônios, que são ligados a tantos outros neurônios. Conhecendo-se o funcionamento dos neurônios, torna-se possível a simulação do comportamento do cérebro humano, mesmo que de forma ainda parcial.

A junção de um neurônio e o seguinte é chamada de *sinapse*. Os neurônios são compostos de três partes básicas: o *soma*, que é o corpo principal do neurônio; um *axônio* único, que se estende do soma ao nervo periférico; e os *dendritos*, que são projeções delgadas do soma, estendendo-se até 1 mm pelas áreas vizinhas

(GUYTON, 1976). Um neurônio e seus componentes podem ser visualizados na Figura 6.1.

O estudo das Redes Neurais é um dos ramos da Inteligência Artificial que mais se desenvolve, atraindo pessoas de diversas áreas de conhecimento (OLIVEIRA, 2000).



**Figura 6.1- Um neurônio e seus componentes**

Fonte: GUYTON (1976)

### **6.1.1 Breve histórico sobre Redes Neurais**

O primeiro estudo sobre Redes Neurais teria sido publicado em 1943, por McCulloch e Pitts, denominado *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*, e que, ainda hoje, é considerado como referência básica para o desenvolvimento de Redes Neurais Artificiais. O estudo propunha uma modelagem do neurônio artificial, como uma unidade de processamento simples (BEALE & JACKSON, 1990). A rede modelada utilizava um modelo bastante simples de neurônio, tendo cada um deles entradas excitatórias e inibitórias. Assim, quando a quantidade de entradas excitatórias fosse maior que as entradas inibitórias, o

neurônio seria ativado e produzia saída igual a 1. O neurônio proposto pelos autores não apresentava *limiar (threshold)*, ou seja, o valor que determina se o neurônio vai responder ou não a uma certa entrada. Assim, se a entrada for menor que o limiar, o neurônio permanecerá em estado inibitório; caso contrário, ele será ativado e propagará o estímulo recebido (LUGER & STUBBLEFIELD, 1989).

Anos depois, HEBB<sup>22</sup> apud COUTINHO NETO (2000) apresenta um trabalho relacionado com o aprendizado de redes biológicas e artificiais, procurando explicar o funcionamento sobre o aprendizado dos neurônios biológicos fundamentado no reforço de ligações sinápticas entre os neurônios excitados. Este aprendizado passou a se chamar *hebbiano*.

Rosenblatt, na década de 50, acrescentou então o limiar aos neurônios, além de propor uma metodologia pela qual a rede poderia passar por um processo de aprendizagem, ajustando de maneira sistemática os pesos de suas sinapses. Esta rede poderia, então, *aprender* simples problemas de classificação e passou a ser chamada de *perceptron*; ainda assim, esta modelagem era limitada. Minsky e Papert questionaram, em 1969, a capacidade da rede *perceptron* em resolver o problema do *ou-exclusivo*, mas somente classificaria padrões linearmente separáveis (LUGER & STUBBLEFIELD, 1989). Depois disso, novos estudos sobre as Redes Neurais só voltaram a acontecer na década de 80, quando alguns problemas da rede *perceptron* começaram a ser solucionados com a utilização de novos modelos: as redes de Hopfield (BEALE & JACKSON, 1990 e a máquina de Boltzaman (HAYKIN, 1994). RUMELHART *et al.* (1986) descreveram o algoritmo de aprendizado *backpropagation* e demonstraram que Minsky e Pappert foram excessivamente pessimistas com relação à rede *perceptron* e que as redes com várias camadas poderiam ser capazes de solucionar problemas considerados de difícil aprendizado.

Os anos 90 foram férteis em novos estudos sobre Redes Neurais Artificiais, nos mais diversos campos de conhecimento.

---

<sup>22</sup> HEBB, D. (1949). *The organization of behavior*. Wiley, New York apud COUTINHO NETO (2000).

### 6.1.2 Redes Neurais Artificiais

Redes Neurais é um termo genérico que abrange uma grande quantidade de diferentes arquiteturas ou paradigmas. A operação desses paradigmas pode variar muito. Entretanto, todas as Redes Neurais compartilham algumas feições básicas. Elas são compostas de um número grande de elementos de processamento, denominado neurônios (DOUGHERTY, 1995).

Redes Neurais Artificiais, segundo MENDES FILHO (2000), são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirirem conhecimento por meio da experiência. Uma grande Rede Neural Artificial pode possuir centenas ou mesmo milhares de unidades de processamento, enquanto que o cérebro humano pode ter bilhões de neurônios.

O desenvolvimento de Redes Neurais Artificiais (RNAs) tem como objetivo compreender o funcionamento do cérebro humano e, de alguma forma, procurar reproduzi-lo. Certos tipos de redes, segundo COUTINHO NETO *et al.* (1999), ensinam a si mesmas, por meio de exposição repetida de um conjunto de dados, reconhecendo características comuns entre eles e agrupando-os de forma ordenada. Outros tipos de RNAs, por sua vez, podem ser programadas para associar um conjunto de entrada com suas respectivas saídas; elas ainda podem generalizar através de exemplos imperfeitos (ruídos) e extrair informações essenciais das entradas contendo dados relevantes ou não.

As RNAs podem ser utilizadas na solução de uma grande quantidade de problemas, encontrados nas mais diversas áreas aplicadas: classificação, diagnóstico, análise de sinais e de imagens, otimização e controle. As Redes têm se mostrado de fácil implementação, robustas no tratamento de dados com ruídos. São eficientes, particularmente, na resolução de problemas em que não se tem formulação analítica ou não se tem conhecimento explícito acessível ou os dados estão *contaminados* por ruído ou o próprio problema modifica-se com o passar do tempo (OLIVEIRA, 2000).

Muitos são os benefícios do uso de Redes Neurais na computação, dentre eles pode-se citar três, segundo TUBB (1993):

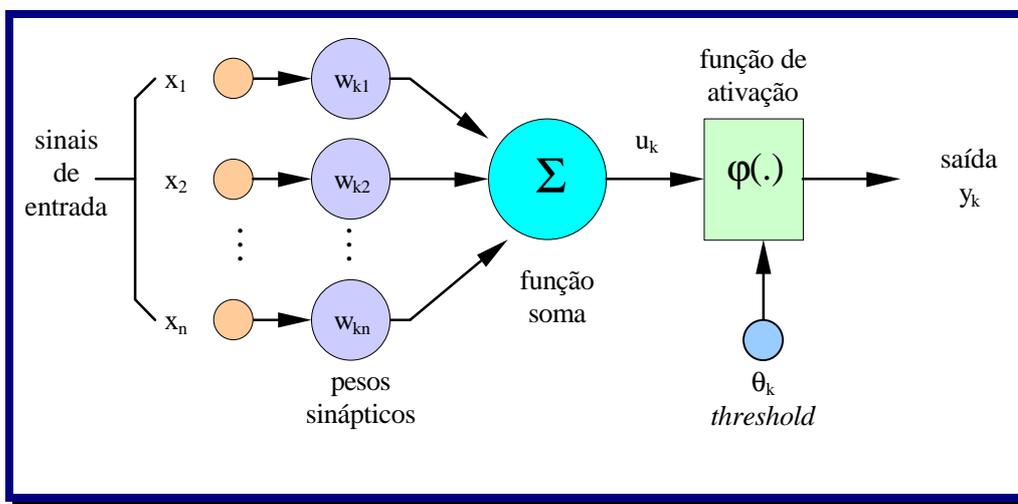
- **habilidade de aprender com exemplos** – os computadores neurais têm a capacidade de aprender com a experiência, objetivando aperfeiçoar seu desempenho e se adaptar aos cenários novos e dinâmicos;
- **robustez** – RNAs têm habilidade em tratar com ruídos. Elas são tolerantes à falhas e podem apresentar degradação gradual, ou seja, apesar de existir alguma falha no sistema, elas continuam oferecendo respostas adequadas por um período significativo de tempo.
- **velocidade de processamento** – como as RNAs consistem de grande número de unidades de processamento operando de forma paralela, elas podem operar em velocidades consideráveis em relação aos métodos computacionais comuns.

Além dessas vantagens, em muitos casos e dependendo do tipo de problema para a qual são submetidas, o desempenho das RNAs têm apresentado desempenho considerado superior aos métodos estatísticos utilizados para o mesmo fim (FALAS, 1995). Paralelamente, SUBRAMANIAN *et al.* (1993) desenvolveram uma pesquisa onde compararam as Redes Neurais com determinados métodos estatísticos de classificação. Concluíram, nas diversas circunstâncias, incluindo pequenos tamanhos de amostras e funções de maior complexidade, que as RNAs apresentaram melhores soluções.

Comparando a regressão múltipla e RNAs, GUEDES (1994) desenvolveu um trabalho usando modelos de regressão e Redes Neurais para se estimar valores de imóveis, obtendo melhores resultados com a aplicação das Redes. KWON *et al.* (1995) usaram modelos de regressão múltipla e Redes Neurais para se obter soluções para o problema do tipo *caixeiro viajante*. Comparando ambos os métodos, verificaram que o roteamento apresentado pelas RNAs mostrou-se superior.

### 6.1.2.1 O neurônio artificial

Um neurônio artificial pode ser entendido como uma unidade de processamento matematicamente simples, a qual recebe uma ou mais entradas, transformando-as em saídas. Cada entrada tem um peso associado, que determina sua intensidade, segundo TUBB (1993). O esquema de neurônio artificial pode ser visualizado na Figura 6.2.



**Figura 6.2 - Modelo não linear de um neurônio**

Fonte: HAYKIN (1994)

A partir da Figura 6.2 é possível distinguir alguns elementos considerados importantes na **estrutura de um neurônio**:

- **sinapses** - caracterizadas por um peso ( $w$ ), que pode representar a sua intensidade. O papel do peso  $w_{kj}$  é multiplicar o sinal  $x_j$  na entrada da sinapse  $j$ , conectada a um neurônio  $k$ . O peso  $w_{kj}$  é positivo se a sinapse associada é excitatória e negativo se a sinapse associada é inibitória;
- **somatório** - adiciona as entradas ponderadas pelos seus pesos respectivos, ou seja,

$$u_k = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_j \quad (6.1)$$

- **limiar (threshold)**,  $\theta_k$ , - tem um papel determinante na saída do neurônio. Se o valor de  $u_k$  for menor que este limiar, então, a saída do neurônio fica inibida. Caso contrário, o neurônio fica ativo.
- **função de ativação**,  $\varphi(\cdot)$  - funciona como um limitante à amplitude da saída do neurônio, ou seja, a entrada é normalizada dentro de um intervalo fechado, comumente  $[0,1]$  ou  $[-1,1]$ ;
- **saída** - do neurônio,  $y_k$ , onde:

$$y_k = \mathbf{j}(u_k - \mathbf{q}_k) \quad (6.2)$$

onde  $\varphi$  é a função de ativação.

Geralmente, o valor do *limiar* é aplicado com a inclusão de uma entrada  $x_0$  igual a -1 e um peso  $w_{k0}$  igual ao valor de  $\mathbf{q}_k$ . Dessa forma, a nova entrada da função de ativação, já incluindo o limiar, é dada por:

$$v_k = \sum_{j=1}^n w_{kj} x_j - \mathbf{q}_k \quad (6.3)$$

As **funções de ativação** definem a saída do neurônio em termos do nível de atividade do mesmo (HAYKIN, 1994). Dentre as funções de ativação mais comuns, se enquadram as seguintes:

- função linear:  $\varphi_i(t+1) = v_i(t)$
- função limiar:  $\varphi_i(t+1) = \begin{cases} 1, & \text{se } v_i(t) \geq \theta \\ 0, & \text{se } v_i(t) < \theta \end{cases}$
- função sigmóide logística:  $\varphi_i(t+1) = 1/(1 + e^{-v_i(t)})$
- função tangente hiperbólica:  $\varphi_i(t+1) = (1 - e^{-v_i(t)}) / (1 + e^{-v_i(t)})$

- função linear por partes: 
$$\varphi_i(t+1) = \begin{cases} +1, & \text{se } v_i(t) > \theta \\ -1, & \text{se } v_i(t) < \theta \\ v_i(t), & \text{em outra parte} \end{cases}$$

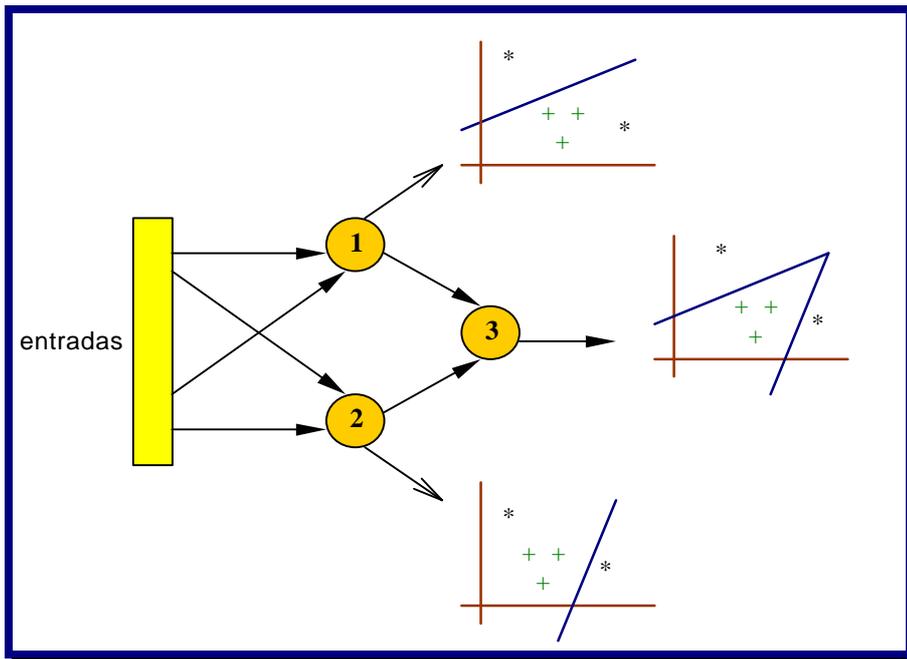
A forma como os neurônios são organizados é denominada de **topologia da rede**. A topologia irá afetar o desempenho da rede, bem como as aplicações para as quais ela é desejada, e sua estrutura está intimamente ligada ao algoritmo de aprendizado usado para a fase de treinamento. Algumas redes permitem que as conexões caminhem tanto no sentido *entrada-saída*, quanto *saída-entrada*. Outras redes, no entanto, permitem que os neurônios da mesma camada estejam conectados. Existem ainda aquelas que permitem que os neurônios enviem sinais de volta para ele mesmo (TUBB, 1993).

Dentre as diversas *topologias*, pode-se mencionar a *Multilayer Perceptron*, que é composta de uma camada de entrada, uma ou mais camadas intermediárias e uma camada de saída e é o tipo de arquitetura mais comum. Há também a *rede de Kohonen*, que é formada por uma camada de entrada e uma única camada de saída, onde cada neurônio está conectado a todos os seus vizinhos. Na *rede de Hopfield*, não há neurônios de entrada ou saída. A entrada de um neurônio é a saída dos demais neurônios e a sua saída vai ser a entrada do demais neurônios da rede. A rede *ART* é formada por camada de entrada e saída, além de controladores de fluxo de sinais. Para efeito deste trabalho escolheu-se a rede *Multilayer Perceptron*, uma vez que ela é mais adequada para fazer classificações deste tipo; além disso, ela é muito mais conhecida e utilizada (BRONDINO, 1999).

Denomina-se **algoritmo de aprendizado** a um conjunto de regras bem definidas para a solução de um problema de aprendizado. Vários são os tipos de algoritmos de aprendizado, que são específicos para determinados modelos de redes neurais e que diferem entre si, principalmente, pela forma com que os pesos são atualizados (BRAGA *et al.*, 1998). Os paradigmas de aprendizado, por sua vez, definem a maneira como a rede se relaciona com o ambiente e se dividem em três principais grupos, segundo BRONDINO (1999):

- **supervisionado** - apresenta-se à rede, na fase de treinamento, um conjunto de entradas acompanhadas de suas respectivas saídas. O objetivo é minimizar o sinal de erro, que é uma função da diferença entre a saída desejada e aquela fornecida pela rede. Esta minimização se dá pelo ajuste dos pesos da rede. Um exemplo deste paradigma de aprendizado é o método *backpropagation*, discutido mais adiante;
- **não supervisionado** - a rede aprende sozinha, sem uma mensagem de erro externa, ou seja, não há supervisão externa. É necessário que entradas parecidas sejam apresentadas à rede, para que esta possa extrair características estatisticamente relevantes e criar classes de maneira automática; e
- **híbrido** - consiste de uma combinação dos aprendizados supervisionado e não supervisionado. Um exemplo é o aprendizado por reforço, onde a rede aprende de seu próprio ambiente, a partir dos dados de entrada. A única informação externa que a rede recebe é a indicação de que a resposta fornecida está correta ou não.

Como mencionado acima, a **rede perceptron**, que é constituída de apenas duas camadas (uma de entrada e outra de saída) só consegue classificar padrões que sejam linearmente separáveis. Diante deste problema, uma possível aproximação seria usar mais que um *perceptron*, cada um sendo empregado para distinguir seções linearmente separáveis da entrada. Combinando suas saídas em outro *perceptron*, poder-se-ia produzir uma indicação final da classe a que aquela entrada pertence (BEALE e JACKSON, 1990). Este raciocínio pode ser visualizado no gráfico da Figura 6.3.



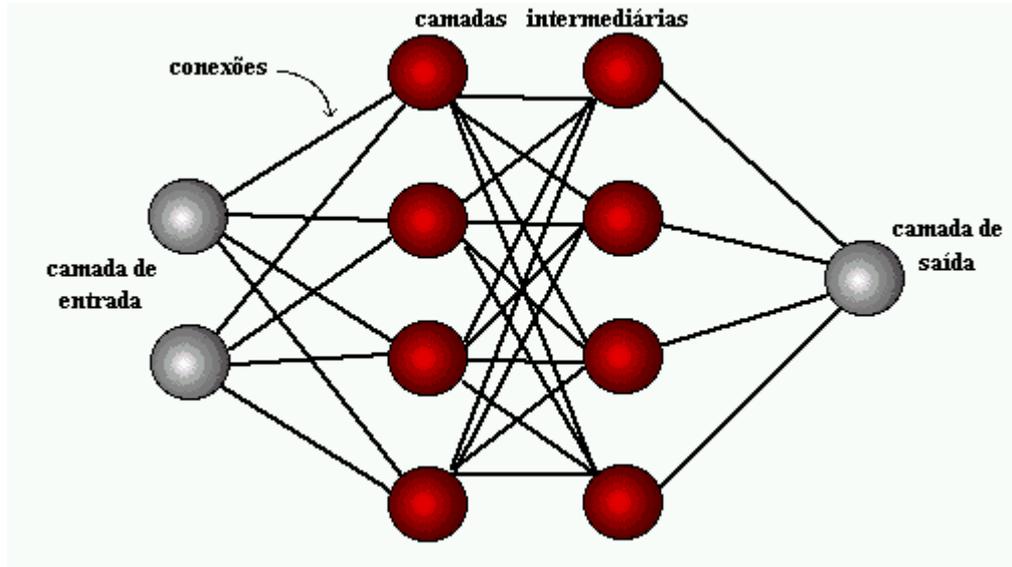
**Figura 6.3 - Comportamento de classificação de 2 padrões de uma rede com 1 camada intermediária**

A nova rede arranja as unidades *perceptron* em camadas e o novo modelo passa a receber a denominação de **multilayer perceptron** (MLP). O novo modelo de rede passa a contar com uma ou mais camadas de neurônios intermediárias. Cada unidade pertencente à camada intermediária funciona como o *perceptron*, exceto porque sua função de ativação não é mais a função degrau e sim, a função *sigmóide* ou a função *threshold* linear. Esta escolha pelo tipo de função de ativação se dá porque, com a utilização de uma das duas alternativas apresentadas, a atualização dos pesos se dá de forma mais suavizada, ou seja, os pesos não vão sofrer alterações bruscas (BRONDINO, 1999). A topologia de uma rede *multilayer perceptron* (MLP) com 4 camadas (2 intermediárias) é mostrada na Figura 6.4.

A regra de aprendizado utilizada para treinar uma rede *multilayer perceptron* é chamada de Regra Delta Generalizada ou, mais comumente, *backpropagation*.

Quando um padrão é apresentado à rede pela primeira vez, esta produz uma saída aleatória. A diferença entre esta saída e a desejada constitui o erro. A intenção do trabalho de treinamento é buscar cada vez mais diminuir o valor deste erro. Para

tal intuito, o valor dos pesos deve ser ajustado a cada nova iteração. A regra *backpropagation* proporciona que os pesos da camada de saída sejam os primeiros a serem ajustados e, posteriormente, os pesos das demais camadas, de trás para frente (daí o nome da regra).



**Figura 6.4 - Topologia de uma rede MLP com 2 camadas intermediárias**

Seja  $E_p$ , a função erro para o padrão  $p$ ,  $d_{pj}$ , o valor da saída desejado (para o padrão  $p$  e o nó  $j$ ),  $o_{pj}$ , o valor da saída obtido. Então, a função  $E_p$  pode ser dada por:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_j (d_{pj} - o_{pj})^2 \quad (6.4)$$

Portanto, o objetivo é minimizar esta função de erro. Se esta função for simples, a rede tem garantia de encontrar solução. Caso contrário, a rede pode cair em um mínimo local e não produzir uma saída satisfatória.

A atualização dos pesos se dá pela adição de um termo de variação a eles ( $\Delta w_{ij}$ ), ou seja, para um peso  $w_{ij}$  (o peso do nó  $i$  para o nó  $j$ ), o seu peso atualizado vai ser dado por:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij} \quad (6.5)$$

onde :

$$\Delta w_{ij} = \eta x_i o_j (1 - o_j) \mathbf{d}_j \quad (6.6)$$

$$\mathbf{d}_j = (d_j - o_j), \text{ para última camada} \quad (6.7)$$

$$\mathbf{d}_j = \mathbf{S} w_{jk} \mathbf{d}_k, \text{ para camadas intermediárias} \quad (6.8)$$

A variável  $\eta$  é denominada taxa de aprendizado. Seu valor vai determinar o quão suavemente se dará a atualização dos pesos. Se  $\eta$  for grande, o valor de  $\Delta w_{ij}$  será grande e, conseqüentemente, os pesos sofrerão uma alteração mais brusca.

Uma outra variável, que pode ser incluída na atualização de pesos, é o *momentum* ( $\alpha$ ). Este novo termo pode aumentar a velocidade do aprendizado e tem por característica acelerar o treinamento em regiões planas da superfície de erro. Com a adição do *momentum*,  $\Delta w_{ij}$  passa a ser definido por:

$$\Delta w_{ij}(t+1) = \eta x_i o_j (1 - o_j) \mathbf{d}_j + \alpha (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1)) \quad (6.9)$$

A atualização de pesos pode se dar de duas maneiras: por padrão ou por ciclo. Na primeira, os pesos são atualizados após a apresentação de cada padrão. Na segunda, os pesos são atualizados após a apresentação de todos os padrões. A maneira a ser utilizada depende da aplicação. Se o conjunto de dados é grande e redundante (poucos padrões e muitas entradas, por exemplo), a primeira é melhor. Caso contrário, quando o conjunto apresenta muitos padrões a serem classificados, é melhor utilizar a atualização por ciclo.

O algoritmo *backpropagation* apresenta alguns problemas, quanto à dificuldades de aprendizado. Em superfícies muito complexas, o treinamento é muito lento e existe o risco da rede cair num mínimo local. Além disso, pode ocorrer *overfitting*, fenômeno que surge depois de um certo tempo de treinamento, quando a rede memoriza os padrões que já foram apresentados e o processo de classificação piora sensivelmente. Possíveis soluções para estes problemas são: diminuir a taxa de aprendizado, adicionar nós na camada intermediária, utilizar *momentum* e adicionar ruídos.

### 6.1.3 Redes Neurais Artificiais na Engenharia de Transportes

Um dos primeiros estudos de aplicação de RNAs na área de Engenharia de Transportes teria sido o de NAKATSUJI & KAKU (1989), procurando resolver problemas relacionados com a Engenharia de Tráfego. Uma aplicação de Redes Neurais foi feita para resolver problemas de organização de controles semaforicos nos EUA, cujos resultados foram considerados superiores quando comparados com aqueles obtidos pelos métodos analíticos tradicionais (NAKATSUJI & KAKU, 1991). O campo dos estudos de transportes tem observado uma verdadeira explosão no uso de Redes Neurais nos anos 90 (DOUGHERTY, 1995).

Um estudo foi conduzido por FWA & CHAN (1993) para se comparar vários índices subjetivos utilizados no processo de decisão em um sistema de gerência de pavimentos, com o uso de Redes Neurais, apresentando resultados animadores. HUA & FAGHRI (1993) propuseram um sistema de RNAs para fazer a classificação de sinais de tráfego sobre o pavimento das vias, concluindo que essa metodologia é uma poderosa ferramenta para abrir caminho para as tarefas orientadas pelo homem e pelo computador. A utilização das RNAs para a classificação de sinais de tráfego (sinalização horizontal), que normalmente é feita pelo homem, torna o sistema capaz de fazer correções na variância de julgamento por parte do agente de inspeção, além de acelerar o processo para classificações em grande quantidade.

Vários outros autores (ATTOH-OKINE, 1994; KASEKO *et al.*, 1994; MEIER & RIX, 1994; ELDIN & SENOUCI, 1995; TAHA & HANNA, 1995; IOANNIDES *et al.*, 1996; CHOU & LIAU, 1996 FLINTSCH *et al.*, 1996, CASSA & CUNHA NETO, 1996; BREGA, 1996, RODGHER *et al.*, 1997, COUTINHO *et al.*, 1999 e COUTINHO NETO, 2000) desenvolveram diversos estudos relacionados com a gerência de pavimentos rodoviários, com bons resultados. RODGHER *et al.* (1997) usaram Redes Neurais para a classificação de solos tropicais. RODGHER *et al.* (1998) fizeram uso de Redes Neurais Artificiais na seleção de atividades de manutenção e reabilitação de estradas não-pavimentadas.

Na área de Engenharia de Tráfego, alguns estudos foram realizados utilizando Redes Neurais Artificiais, abordando temas que vão desde o comportamento dos motoristas diante da visualização da luz amarela na aproximação ao grupo focal semaforico em interseções (HUANG & PANT, 1994) até a análise da probabilidade de ocorrência de acidentes de trânsito a partir de parâmetros como o fluxo, a concentração e velocidades dos veículos nas vias (IVAN *et al.*, 1995).

Vários trabalhos foram desenvolvidos no campo de operação e gestão de tráfego rodoviário e urbano, dentre eles pode-se citar ABDULHAI & RITCHIE (1999), CHANG & SU (1995), CHEU & RITCHIE (1995), DIA & ROSE (1997), IVAN (1997), KHAN & RITCHIE (1998), LEDOUX (1997), MARTINELLI & TENG (1996).

COSTA & MARKELLOS (1997) usaram RNAs para desenvolver mecanismos para medição de performance do transporte público baseados no conceito de eficiência da produtividade, usando dados sobre o metrô de Londres.

No campo do planejamento de transportes, CARVALHO (1999) utilizou RNAs para fazer a previsão de demanda de transportes, como alternativa ao uso do modelo Logit. Ela constatou a viabilidade do uso de Redes Neurais para este fim, pela sua capacidade de capturar a não linearidade por detrás dos dados, produzindo probabilidades de escolha melhores do que aquelas obtidas pelo método convencional. O estudo de WERMERSCH & KAWAMOTO (1999) estudou a viabilidade de caracterizar o comportamento dos usuários dos sistemas de transportes em relação do modo de viagem. MOZOLIN *et al.* (2000) fizeram uma comparação sobre a previsão de distribuição de viagens feita com Redes Neurais Multilayer Perceptron e usando Modelo de Máxima Verossimilhança Duplamente Restringido.

NIJKAMP *et al.* (1996) apresentaram estudo onde desenvolvem análises comparativas entre o Modelo Logit e Redes Neurais, para a modelagem do fluxo de viagens interurbanas na Itália. SHMUELI *et al.* (1996), por sua vez, exploram a aplicação de RNAs na avaliação de ferramentas para previsão de viagens, comparando o padrão de viagens entre homens e mulheres, em Israel.

FURTADO *et al.* (1997) e FURTADO (1998) apresentaram uma metodologia que usa RNAs para a avaliação e ordenamento de alternativas de projetos de transportes. RODRIGUE (1997) fez aplicação das Redes em uma análise considerando a interação do uso do solo e transportes. RAO *et al.* (1999) desenvolveram um modelo de micro-simulação, utilizando Redes Neurais, para a localização de empregos.

Um revisão bastante interessante foi desenvolvida por DAUGHERTY (1995), relatando diversas aplicações de Redes Neurais em transportes: comportamento de motoristas, estimação de parâmetros, manutenção de pavimentos, análises de padrão de tráfego, operações de cargas, previsão de tráfego, economia e políticas de transportes, transporte aéreo e marítimo, operações metroviárias, controle de tráfego. Conclui o estudo que muitos dos problemas que estas áreas precisam resolver são considerados não-lineares, onde os dados são numerosos e complexos e que, as Redes Neurais se apresentam como uma útil e promissora ferramenta na análise dos mesmos.

BRONDINO (1999) e BRONDINO & SILVA (1999) utilizaram Redes Neurais Artificiais e métodos de regressão para fins de avaliação e estudo da influência de uma medida de acessibilidade no valor de terrenos urbanos, considerando dados das cidades paulistas de Araçariguama e São Carlos. Uma comparação entre os erros obtidos pelas duas abordagens indicou erros relativos menores apresentados pelas RNAs na estimativa de valores de terrenos, a partir de diversas variáveis. Aponta que os programas que usam RNAs se apresentam como um método mais acessível, em termos de interface com o usuário.

Os bons resultados obtidos pelos estudos que se utilizaram das Redes Neurais Artificiais em suas abordagens e, principalmente, o de BRONDINO (1999), que apresenta uma certa similaridade com o trabalho aqui desenvolvido, motivaram o uso desta técnica neste trabalho.

## 6.2 Sistema de Informações Geográficas

Sistemas de Informações Geográficas é a terminologia freqüentemente aplicada à tecnologia computacional orientada geograficamente usada em um grande número de aplicações e, mais recentemente, despertou interesse significativo em todo o mundo. Por inúmeras razões, é muito mais difícil definir o que seja SIG do que se possa imaginar. Embora ainda haja debates sobre a origem do termo SIG e a data sobre o início do seu desenvolvimento, fica claro que a tecnologia GIS é relativamente recente (MAGUIRE *et al.* 1991).

Para ilustrar a diversidade de definições sobre SIG encontrada na literatura, a seguir serão apresentadas algumas:

- Sistema computacional que armazena e une dados de atributos não-gráficos ou geograficamente referenciados com feições de mapas para permitir uma grande gama de processamento e disposição de informações, tanto quanto produção de mapas, análises e modelagens (ANTENUCCI *et al.*, 1991);
- Um sistema de base de dados computadorizado para captura, armazenagem, recuperação e disposição de dados espaciais (HUXHOLD, 1991);
- São sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la. (CÂMARA *et al.*, 1996);
- Sistema baseado em computador, que permite ao usuário coletar, manusear e analisar dados georreferenciados (TEIXEIRA & CHRISTOFOLETTI, 1997)

O SIG possui uma estrutura flexível de dados baseados em relações topológicas. Os sistemas típicos (modelos vetoriais) se baseiam nas entidades características de todo desenho cartográfico: o ponto, a linha e a área. Por causa desta

estrutura topológica, podem ser realizados diversos tipos de análises de dados geográficos.

Também, o modelo de banco de dados CAD trata as informações espaciais como desenhos ou mapas eletrônicos, entretanto, os programas SIG podem organizar estes diferentes tipos de dados em um único ambiente de banco de dados contendo localizações espaciais e seus atributos geográficos respectivos.

Um Sistema de Informações Geográficas é destinado ao tratamento de diversas fontes como mapas, imagens de satélites, cadastros e outras, permitindo recuperar e combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de análises de dados. A tecnologia SIG vem encontrando uma utilidade cada vez maior em diversas áreas do conhecimento humano, dentre elas pode-se destacar o planejamento urbano e de transportes.

A utilização em larga escala de tais sistemas tornou-se possível, com custos aceitáveis, a partir da disponibilidade de diversas tecnologias como a cartografia digital, os bancos de dados e o geoprocessamento digital de imagens. Tipicamente, um SIG combina essas tecnologias com técnicas de análise e manipulação da informação espacial.

### **6.2.1 Componentes do Sistema de Informações Geográficas**

Sistema de Informações Geográficas (SIG) constitui tecnologia para a investigação de fenômenos diversos, relacionados com transportes, urbanismo, cadastro técnico etc. Uma definição clássica, além das já citadas, é a que diz que um SIG é uma coleção organizada de *hardware*, *software*, dados geográficos e pessoal envolvido no trabalho, projetado para, eficientemente, capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar todas as formas de informações referenciadas geograficamente (ver Figura 6.5).

O *usuário* faz parte do SIG todas as vezes que análises mais complexas (análise espacial e modelagem) tenham que ser realizadas. Ele deve ser experiente na

escolha e uso de funções e ferramentas do SIG e deve ter bons conhecimentos sobre a maneira de como os dados podem ser utilizados.

O *hardware* é composto pelos diversos componentes do computador, seus periféricos etc. Os programas especificamente construídos para atuarem no Sistema de Informações Geográficas constituem os *software*. Eles podem ser simples, com poucos recursos ou complexos com aplicações específicas em determinadas áreas. Um sistema que tem como objetivo geral registrar e manter informações, pode ser chamado de *Banco de Dados*. Este Banco pode ser tanto integrado quanto compartilhado.



**Figura 6.5 - Componentes principais de um SIG**

Fazem parte do *mundo real* todos os objetos geográficos da superfície ou subsuperfície da terra e do meio, cuja representação pode ser numérica ou gráfica, além de armazenada em formatos analógicos ou digitais e de forma agregada (por exemplo, mapas) ou desagregada (em camadas). O mundo real é a fonte de informações para um Sistema de Informações Geográficas.

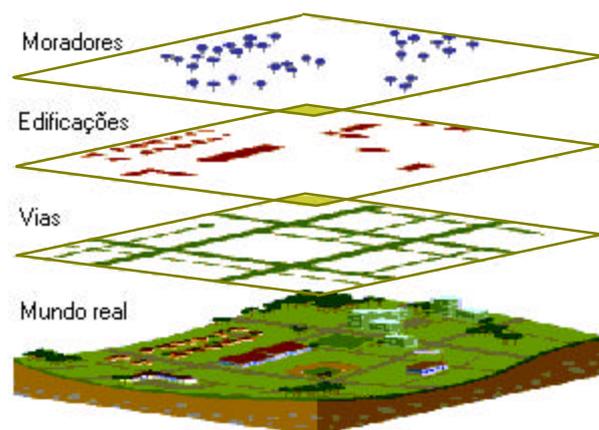
Sistemas de Informações Geográficas são, portanto, ferramenta de extrema importância nas atividades de planejamento urbano e de transportes, proporcionando condições mais satisfatórias de visualização, entendimento, compreensão e tomada de decisões.

## 6.2.2 A Estrutura de Sistema de Informações Geográficas

O *mundo real* compõe-se de diversas feições geográficas que podem ser representadas por várias camadas de dados relacionados. Neste caso, as camadas do mundo real são compostas pelos consumidores, edifícios e sistema viário (ver Figura 6.6). O SIG combina os avanços da cartografia automatizada, dos sistemas de manipulação de banco de dados e do sensoriamento remoto com o desenvolvimento metodológico da análise geográfica, para produzir um conjunto distinto de procedimentos analíticos que auxiliam no gerenciamento e na atualização constante das informações disponíveis. O SIG tem, predominantemente, orientação espacial na sua capacidade de busca e análise, podendo posicionar geograficamente características de feições nas suas posições relativas. Conceitualmente, um Sistema de Informações Geográficas é um mapeador automatizado ou um sistema de mapeamento temático.

Pode-se realizar com o SIG uma série de análises, tais como: otimizar o sistema de transporte coletivo; avaliar a tendência preferencial de crescimento dos bairros; definir a forma como se deve proceder no avanço de redes de infra-estrutura urbana; definir os locais estratégicos para a instalação de postos de saúde, hospitais, creches, escolas, áreas de lazer, áreas potenciais de ocupação residencial e industrial; avaliar a porcentagem de cobertura vegetal natural e cultivada pelo homem etc. Tem-se, dessa forma, um sistema de gerenciamento de banco de dados acoplado à facilidade de mapeamento temático.

Um Sistema de Informações Geográficas, de maneira geral, é composto por dois grandes conjuntos de informações, que formam um *banco de dados espaciais* e outro, de *dados de atributos*. O cerne do sistema é o Banco de Dados que, em síntese, é uma coleção de mapas e informações associadas na forma digital. O Banco de Dados representa as características da superfície do terreno, sendo composto por dois elementos: um *Banco de Dados Espaciais*, que descreve as características geográficas da superfície do terreno (forma e posição), e um *Banco de Dados de Atributos*, que descreve as qualidades dessas características.



**Figura 6.6 - Feições geográficas representadas em camadas relacionadas**

Os *software* de Sistema de Informações Geográficas que foram desenvolvidos como instrumento de armazenagem e processamento de dados espaciais, quase sempre relacionados com usos específicos, atendem, de maneira bastante satisfatória, às necessidades do processo de planejamento urbano e de transportes.

### **6.2.3 Os Sistemas de Informações Geográficas e o Planejamento de Transportes**

Segundo ANTENUCCI *et al.* (1991), um dos primeiros projetos que vinculou os resultados de análises com mapas, de forma a facilitar a sua compreensão (praticamente uma versão preliminar dos atuais SIG), foi justamente um trabalho na área de transportes, desenvolvido em Detroit-USA, em 1955. Naquele projeto foi desenvolvida uma saída gráfica para o programa de computador, através da qual os fluxos resultantes das análises eram representados por linhas de diferentes espessuras.

Para KAGAN *et al.* (1992), os Sistemas de Informação Geográfica permitem manusear, atualizar, alterar, ou acrescentar outras informações, ou ainda trabalhar com parte dos dados, em função do problema em questão. Isso parece funcionar muito bem para as informações tipicamente necessárias para alimentar modelos de transportes, que são:

- Dados sócioeconômicos e demográficos de população (habitantes, empregos, renda, produção industrial e agrícola etc.);
- Dados sobre características de uso e ocupação de solo;
- Dados descrevendo a oferta de transportes;
- Dados sobre a demanda por transporte.

Tanto os modelos tradicionais como os Sistemas de Informação Geográfica conjugados a esses modelos, permitem gerar alternativas para solução de problemas de transportes, simulando o comportamento do tráfego. No entanto, a principal vantagem dos SIGs em relação aos métodos tradicionais é a rapidez e a flexibilidade, pois a utilização de um sistema automatizado oferece ao planejador, administrador público ou engenheiro de transportes, novos conceitos para representação gráfica e manipulação dos dados.

Na integração dos SIG com o planejamento de transportes, a área de pesquisa ainda está em fase de consolidação inclusive nos países desenvolvidos. Apesar disso alguns autores norte-americanos, como VONDEROHE *et al.* (1991) e STOKES & MARUCCI (1995), afirmam que os SIG-T são uma tecnologia que veio para ficar. Para estes autores, sua implementação em larga escala é apenas uma questão de tempo. Alguns aspectos operacionais ainda precisam ser melhor resolvidos, como no caso da integração dos modelos tradicionais de transportes com os SIG. Este é um tema ainda explorado por pesquisadores de diferentes partes do mundo (NIEMEIER & BEARD, 1993; SILVA & WAERDEN, 1997; MCCORMACK & NYERGES, 1997; KAFFUM & TAYLOR, 1998)

Algumas experiências já foram realizadas em países em desenvolvimento para verificar a possibilidade da aplicação dos SIG-T no planejamento de transportes (ABEBE & HOLDSTOCK, 1993; NICOLINI, 1998), inclusive no Brasil, com resultados interessantes.

Um dos primeiros trabalhos que tratou do tema no Brasil foi o de KAGAN *et al.* (1992), cujo objetivo principal era discutir a potencialidade do uso de um SIG no

planejamento de transportes. Os autores afirmam que nas etapas de um modelo de planejamento em transportes - reconhecimento do problema, estabelecimento de metas, objetivos e alternativas para solução do problema, definição de critérios para avaliação das opções, simulação do comportamento do sistema considerando as várias alternativas e escolha da melhor opção - há necessidade de se tratar grandes volumes de informações. Os SIG realizam o armazenamento e processamento dessas informações, além de permitirem a representação espacial, por exemplo, dos resultados alcançados pela aplicação de uma alternativa escolhida para resolução do problema, tornando a análise mais transparente aos usuários. Devido ao bom desempenho e às vantagens dos SIG (facilidade de edição e representação gráfica, tratamento topológico, análises estatísticas etc.), observados em uma experiência prática de modelagem de transportes associada a um SIG, os autores esperavam uma maior integração dos últimos com os modelos de planejamento na resolução de problemas característicos dos transportes nas cidades.

O que se pôde observar, num primeiro período de contato dos pesquisadores brasileiros com os Sistemas de Informações Geográficas para planejamento de transportes, que durou até 1995, foi uma série de intenções de utilização da ferramenta. Poucos porém foram os trabalhos que se referiam a aplicações práticas efetivamente implementadas. Nesse período, no entanto, alguns grupos começaram a se destacar na área. É interessante observar que esse era também o quadro em outros países da América do Sul, como Chile (BRAVO & CERDA, 1995), apesar de sua tradição em desenvolver pesquisas de ponta na área de transportes, e Argentina (NILDA & ABRIANI, 1994).

O número de trabalhos publicados entre os anos de 1994 e 1995 indicava o crescente interesse pelo assunto na comunidade de transportes e já assumia proporções que permitiam uma retrospectiva sobre o tema no Brasil. Isto foi feito por SILVA (1998), onde se pode avaliar tanto os trabalhos produzidos no Brasil, como aqueles publicados por autores brasileiros no exterior, empregando a tecnologia dos SIG aplicada aos transportes.

### 6.3 Obtenção de dados para planejamento de transportes

O processo de planejamento de transportes exige, em geral, uma quantidade grande de informações, não apenas aquelas relacionadas com os próprios sistemas de transportes, como também as associadas às questões socioeconômicas, que por sua vez constituem as fontes que geram demanda por transporte.

O profundo relacionamento existente entre o sistema de transporte e as demais atividades da sociedade, faz com que seja necessária a obtenção de informações relacionadas aos mais diferentes aspectos, dentre eles: população, renda, localização das principais fontes de consumo e produção etc. (MELO, 1975), além daqueles relacionados com as pessoas que realizam as viagens, tais como: idade, instrução, sexo etc.

A obtenção destas informações poderá ser facilitada pela existência de dados já publicados, que são publicados por órgãos públicos e oficiais, porém em muitos casos, existe a necessidade da obtenção de informações nos próprios locais onde será planejado e/ou estudado um determinado sistema de transporte. As pesquisas de transportes realizadas no próprio local objeto de estudo podem ser chamadas pelo termo genérico *pesquisa origem e destino* ou pelo nome mais comum *pesquisa O-D*, que podem ser realizadas de diversas maneiras, sempre com o intuito de coletar dados que possibilitem o planejamento dos transportes (MELO, 1975).

As pesquisas origens destino são desenvolvidas objetivando não só a determinação de pontos iniciais e finais das viagens, como também obter informações de caráter geral sobre o sistema de transporte e dos viajantes. Vários são os tipos de obtenção de dados para o planejamento de transportes, segundo RICHARDSON et al. (1995), das quais pode-se destacar as seguintes:

- **Pesquisa documental** – é aquela realizada através de documentos publicados ou não, além de base de dados com o intuito de descobrir o tipo de informação que é requerida pelo trabalho em questão;

- **Pesquisa por meio de observações** – este tipo de pesquisa é muito freqüente em transportes, mais precisamente em pesquisa de tráfego, e podem ser feita de forma direta ou indireta;
- **Pesquisa domiciliar de auto-preenchimento** – usam questionários de auto-preenchimento, sem que os respondentes sejam acompanhados de um assistente;
- **Pesquisa telefônica** – esta pesquisa é feita através de um questionário aplicado por via telefônica, e tem sido muito utilizada nos Estados Unidos;
- **Pesquisa de interceptação** – é feita em algum lugar que não seja a residência, onde as pessoas são interceptadas durante uma viagem ou durante a realização de diversas atividades; e
- **Pesquisa de entrevista pessoal domiciliar** – é feita através de um questionário no domicílio do entrevistado e é acompanhada por um entrevistador;

### 6.3.1 Pesquisa Origem-Destino

Pesquisa origem-destino é a denominação que se dá para as pesquisa de tráfego realizadas no próprio local objeto de planejamento, podendo ser realizadas de diversos modos, mas sempre visando coletar dados que possibilitem o planejamento de sistemas de transportes. Os tipos mais utilizados são as *pesquisa nas vias* e *pesquisa domiciliar*, sendo que a primeiras é usada tanto para planos em zonas urbanas quanto em zonas rurais, enquanto que a segunda é mais utilizada em planos de transportes urbanos (MELO, 1975).

A técnica de pesquisa de entrevista domiciliar tem sido a maior fonte de obtenção de dados para estudos de transportes nas últimas décadas (RICHARDSON *et al.*, 1995). Os resultados da pesquisa domiciliar OD delimitam a distribuição territorial da população e dos locais de interesse das viagens. É essa característica de

espacialização das informações na área urbana que torna a pesquisa diferenciada das demais pesquisas do gênero. Seus resultados são sempre de grande valia não só para estudos de transportes, como também para área afins (CALVETE, 1970; LANE *et al.*, 1973, ORTÚZAR & WILLUMSEN, 1994; RICHARDSON *et al.*, 1995).

A pesquisa origem-destino é normalmente realizada com o objetivo de conhecer não só os pontos iniciais e finais das viagens, como também os horários, comprimentos, tempos de viagens, dados socioeconômicos dos viajantes etc. A pesquisa domiciliar é feita mediante o preenchimento de um questionário, através de uma entrevista que o pesquisador faz com as diversas pessoas moradoras em um domicílio.

Embora seja cara e trabalhosa, a pesquisa origem-destino feita através da pesquisa domiciliar é também a que oferece, em geral, a possibilidade de se obter os melhores dados (ORTÚZAR & WILLUMSEN, 1994).

Segundo MELO (1975), não existe uma metodologia específica para a determinação do número de zonas de tráfego que comporão a região ou cidade pesquisada. Isto deve ser feito levando-se em consideração as características topográficas, densidade populacional, produção e consumo, volumes de tráfego. É importante que se considere as características de homogeneidade das áreas que serão repartidas ou agrupadas para a formação de uma zona de tráfego. As dificuldades na obtenção desses dados fazem com que as zonas de tráfego sejam associadas a alguma outra repartição já efetuada; em geral, no Brasil, adota-se como referência as micro-regiões definidas pelo IBGE.

As entrevistas domiciliares são realizadas, geralmente, com dois objetivos principais: obter informações estatísticas sobre as viagens dos residentes na área em estudo e descobrir as características gerais das famílias de maneira que estas possam relacionar-se com a geração de viagens nas fases de construção de um modelo (LANE *et al.*, 1975).

Uma das maneiras de realização da pesquisa origem-destino é a pesquisa domiciliar, que é utilizada visando-se conhecer os dados básicos relacionados aos

deslocamentos atuais para todas as viagens realizadas em um dia típico. Estas pesquisas fornecem os dados essenciais a respeito dos atuais desejos e hábitos dos deslocamentos que, conjuntamente com os dados sobre o uso do solo e estudos socioeconômicos, oferecem subsídios para a previsão de deslocamentos futuros (BRUTON, 1979).

A conduta dos indivíduos tende a ser repetitiva e se desenvolve de acordo com esquemas relativamente fixos, que podem ser compartilhados por grupos numerosos. Por exemplo, a maior parte das pessoas trabalha e necessita fazer um determinado número de viagens diárias; de famílias com composições similares, pode-se esperar o mesmo número de viagens com motivo compras ou para lazer. Dessa forma, não é necessário entrevistar todas as pessoas residentes na área em estudo, ou coletar informações sobre as viagens por períodos muito grandes. São apenas necessárias as informações suficientes para calibrar os modelos que descrevem as características das viagens, de maneira geral. Por outro lado, a família pode ser considerada uma unidade adequada para ser escolhida com unidade primária geradora de viagens (LANE *et al.*, 1975).

### 6.3.1 Aspectos relacionados à pesquisa O-D

A seguir serão apresentadas algumas considerações importantes, segundo ORTÚZAR & WILLUMSEN (1994), para a aplicação de pesquisa O-D:

- **Época** - determinar um período apropriado é diretamente dependente dos seus objetivos; normalmente, sua meta principal é a de obter o comportamento de viagens de um dia útil típico. Neste caso, descarta-se o inverno e os períodos de férias.
- **Dia e hora** - se o objetivo for um dia útil, sugere-se a terça-feira, a quarta-feira e a quinta-feira. Com relação ao horário, pesquisas passadas recomendam que das 18 às 21 horas obtém-se os melhores resultados.

- **Período** - normalmente, se a amostra for suficientemente grande, pode-se considerar as viagens feitas em um único dia; se ela for pequena, deve-se considerar vários dias.
- **Planejamento** - em geral, questões a serem aplicadas devem procurar minimizar a resistência por parte do entrevistado; por essa razão, sempre que possível, as questões “mais difíceis”, como por exemplo, àquelas relacionadas com a renda, devem ser deixadas para o final. A pesquisa deve abranger 3 grupos básicos:

**Identificação e características pessoais:** sexo, idade, posse de carteira de motorista, nível de instrução, atividade etc.

**Dados de viagem:** origem e destino, motivo, modo, horário de partida e chegada etc.

**Características da família:** características da moradia, propriedade de veículos e do imóvel e renda.

**Tamanho:** embora tradicionalmente tenham sido usados tamanhos de amostras muito grandes, as tendências atuais apontam para amostras menores.

## 7. METODOLOGIA

*Neste capítulo inicialmente são reapresentados os objetivos específicos estabelecidos no desenvolvimento desta tese e que nortearão a metodologia aqui apresentada. Posteriormente são apresentadas as cinco etapas básicas adotadas na metodologia: obtenção de dados que representem aspectos relacionados com a mobilidade, a construção da base de dados georreferenciada, o cálculo de uma medida de acessibilidade, a construção de modelos de potenciais de viagens através do uso de Redes Neurais Artificiais e, por último, os procedimentos usados para a elaboração de índices de potenciais de viagens associando aspectos de acessibilidade e mobilidade.*

A metodologia utilizada na elaboração desta pesquisa foi desenvolvida com base nos objetivos específicos que norteiam o trabalho, que são apresentados, a seguir, de maneira reduzida:

- Incorporação de atributos de natureza espacial aos dados uma pesquisa O-D, através de um SIG;
- Construção de modelos preliminares para avaliação do desempenho das variáveis de entrada e saída;
- Reformulação dos modelos a partir das variáveis de melhor desempenho;
- Aplicação dos modelos a um estudo de caso; e
- Determinação dos pesos das variáveis que contribuem na composição de um índice de potencial de viagens.

Uma vez estabelecidos os objetivos específicos, faz-se necessária a identificação de fontes de dados sobre mobilidade e acessibilidade, necessários para o desenvolvimento da pesquisa. Nesse sentido, os dados sobre a mobilidade podem, por exemplo, ser retirados de pesquisas Origem-Destino, como realizado por LÓPEZ-REYES (1999).

RAO *et al.* (1999) também utilizaram dados de uma Pesquisa O-D realizada na cidade indiana de Guwahati para desenvolver um modelo de transportes baseado em Redes Neurais Artificiais. No caso específico da pesquisa da Índia, destinada a reproduzir padrões de localização de empregos, os dados da pesquisa que se mostraram mais significativos para a realização de viagens por motivos de compras, estudo, recreação e serviços foram: número de pessoas da família, número de pessoas que percebem salários, idade, dados sócioeconômicos, posse de veículo e de casa próprios.

Os dados obtidos neste tipo de pesquisa, no entanto, necessitam passar por um processo de tratamento para se identificar que informações podem ser utilizadas, levando-se em consideração o que preconiza a bibliografia pesquisada e o trabalho a ser desenvolvido. Os dados precisam ser selecionados, cruzados e consolidados.

Alguns desses dados, que possuem características espaciais, como é o caso da origem e destino das viagens, podem ser introduzidos em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas, para que se possa associar aos mesmos as características de tempo e/ou distância envolvidas nos deslocamentos. Também a acessibilidade, um parâmetro que tem características espaciais, depende de dados espaciais e pode ser calculada de forma individualizada para cada domicílio pesquisado.

Posteriormente, os dados selecionados da pesquisa O-D e aqueles calculados através do SIG podem ser aplicados a modelos preliminares para a avaliação do desempenho das variáveis de entrada e saída, ou seja, a relevância que as variáveis de entrada (dados sócioeconômicos e locais) apresentam sobre as de saída (viagens). Uma vez identificadas as variáveis que apresentam pior desempenho nos modelos preliminares, estas devem ser subtraídas e, um novo modelo, agora

composto somente pelas variáveis que apresentem maior relevância, construído. Esses modelos podem ser finalmente utilizados na elaboração de um índice de potencial de viagens para aplicação em uma cidade qualquer. A seguir serão apresentadas com maiores detalhes cada uma das cinco etapas que constituem a metodologia usada neste trabalho.

## 7.1 Obtenção de dados

A primeira etapa do trabalho prevê que, dentre as diversas fontes possíveis de dados, é necessário escolher uma fonte de dados que melhor se enquadra nas características do estudo, além de verificar a disponibilidade de recursos para obtê-los. Como descrito no capítulo anterior, a pesquisa origem-destino obtida através de pesquisa domiciliar assistida por supervisor é uma das mais ricas fontes de dados. No entanto, esta pesquisa necessita uma grande quantidade de recursos tanto de pesquisadores quanto de recursos financeiros (ORTÚZAR & WILUMSEN, 1994; RICHARDSON *et al.*, 1995). Dessa forma, se este tipo de pesquisa estiver disponível poderá ser utilizado, o que não é situação das mais comuns na maioria dos municípios brasileiros.

Dentre as fontes de dados possíveis, porém sem a mesma riqueza de dados relacionados com as viagens obtidas pela pesquisa origem-destino, são as pesquisas feitas periodicamente (a cada década, pelo menos) pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE para recenseamento geral da população. Estas, embora com um relativo atraso em relação à coleta, em geral, são de fácil aquisição.

Se a pesquisa O-D estiver disponível, é necessário verificar se o tamanho da amostra adotado pela pesquisa foi adequado. Isto pode ser feito, por exemplo, através da metodologia sugerida por ORTÚZAR & WILLUMSEN (1994), que recomendam que o tamanho mínimo da amostra para se realizar uma pesquisa domiciliar considere a faixa de população da cidade ou região. A quantidade mínima e recomendada de domicílios, para cada faixa de tamanho de população da cidade ou região a ser pesquisada, está apresentada no Quadro 7.1.

**Quadro 7.1 – Tamanho de amostra que se recomenda para estudos com entrevistas domiciliares**

População da área (habitantes)	Tamanho recomendado da amostra	Tamanho mínimo da amostra
abaixo de 50.000	1 a cada 5	1 a cada 10
de 50.000 a 150.000	1 a cada 8	1 a cada 20
de 150.000 a 300.000	1 a cada 10	1 a cada 35
de 300.000 a 500.000	1 a cada 15	1 a cada 50
de 500.000 a 1.000.000	1 a cada 20	1 a cada 70
acima de 1.000.000	1 a cada 25	1 a cada 100

Uma vez que o tamanho da amostra esteja adequado ao que preconiza a literatura, deve-se proceder uma análise de verificação da consistência dos dados coletados. Segundo ORTÚZAR & WILLUMSEN (1994), existe a necessidade de correção dos dados da pesquisa O-D com o intuito de se obter resultados que sejam não somente representativos da população pesquisada, mas que seja também fidedigna e válida. As correções sugeridas por estes autores são:

- **Correção devido ao tamanho do domicílio** – as amostras, em geral, são selecionadas a partir de endereços; no entanto, é possível superdimensionar o número de domicílios de maior ou menor tamanho. Isto pode ser identificado e resolvido comparando-se os dados da pesquisa com aqueles disponíveis nos Censos demográficos.
- **Correção sociodemográfica** – isto pode ser necessário se diferenças nas distribuições de sexo e idade forem detectadas entre a amostra e a população (também pode ser obtida nos Censos demográficos).
- **Correção devido a “não-resposta”** – problema causado por possíveis variações no comportamento de viagem entre aqueles que fizeram viagens e não responderam a pesquisa (por exemplo, pessoas que estavam fora do domicílio no momento da entrevista).

- **Correção devido à viagens não relatadas** – este problema surge por que o entrevistador tende normalmente a subestimar as viagens derivadas.

Com os dados da pesquisa devidamente corrigidos e validados, deve-se identificar quais são variáveis que serão aproveitadas na construção dos modelos preliminares, excluindo-se as demais. Com os dados remanescentes na planilha de dados deve-se proceder a agregação de dados por domicílio. Isto pode ser feito, por exemplo, somando-se as viagens realizadas pelos diversos modos, proporção de pessoas do domicílio que possuem carteira de motorista, número de automóveis por domicílio, número de pessoas nos diversos níveis de instrução etc.

Como em um domicílio são feitas, em geral, viagens por mais de um modo de transporte, é necessário que se identifique qual o modo prevaiente naquele domicílio. Isto é, se a família realiza viagens por automóvel e a pé, e o automóvel é o modo preponderante, isto significa que por algum motivo as pessoas daquele domicílio resolveram não fazer todas as viagens por automóvel, mas que no entanto, tinham disponível o automóvel para fazê-las.

Identificados os modos prevaientes de viagens nos domicílios, pode-se trabalhar com tantos conjuntos de dados quanto forem os modos de viagens obtidos pela pesquisa. Com isso, têm-se grupos de dados associados à mobilidade dos componentes dos domicílios, por modo. O mesmo procedimento pode ser estendido para outros aspectos que se julgue conveniente tratar de forma isolada como, por exemplo, motivos de viagens. É conveniente ainda associar aos dados já citados, características de acessibilidade específicas de cada domicílio. Estas podem ser estimadas com maior facilidade e precisão se o dados forem armazenados e tratados em um Sistema de Informações Geográficas.

## **7.2 Base de dados georreferenciada**

Para o cálculo de distâncias de viagem ou da maioria das medidas de acessibilidade em um SIG é necessária a utilização de bases de dados digitais e georreferenciadas da cidade estudada, contendo dados sobre as vias, quadras, linhas

de ônibus, cruzamentos, barreiras físicas (ferrovias, rios etc.). Existem algumas formas de se obter estas bases, segundo ANTENUCCI *et al.* (1991), e dentre elas pode-se citar: aquisição por meio de mesa digitalizadora, aquisição através de digitalização tomando-se como base fotografias de satélites, aquisição por meio de cópia de imagens raster (*scanning*) servindo como “pano de fundo” para posterior digitalização via tela do computador, aquisição por meio da transferência de arquivos digitais existentes etc.

A base de dados georreferenciada deve ser complementada com a introdução de dados atributivos, tais como os nomes das vias e os número das quadras, que servirão para posterior localização de origens e destinos de viagens. Os endereços de origens e destinos das viagens obtidos pela pesquisa O-D, antes de serem introduzidos em um SIG para a sua localização, deverão passar por um processo de homogeneização de tratamento dos nomes de logradouros, bem como dos nomes das ruas.

Antes de se proceder a localização espacial dos endereços é conveniente que se proceda a verificação da consistência da rede viária. Isto pode ser feito, por exemplo, através da metodologia desenvolvida por RAIA Jr. & SILVA (1998) que utiliza um índice de acessibilidade do tipo separação média entre pontos, tal como citado por ALLEN *et al.* (1993).

A localização espacial das origens e destinos das viagens pode ser feita de duas maneiras: *manual* e individual, por meio do operador do SIG ou de forma *automática*, através de ferramenta disponibilizada pelos *software*, denominada *address matching*. A primeira maneira, embora mais trabalhosa, pode garantir um maior número de endereços localizados; a segunda, é um procedimento mais rápido, por ser automático. Porém, apresenta uma desvantagem em relação à forma anterior, pois mesmo tendo um processo de interação entre o *software* e o operador para a localização de endereços não encontrados, pode conduzir a um menor número de endereços localizados.

A seguir, torna-se necessária a associação de cada origem com cada destino, em ambiente digital, afim de proceder ao cálculo das distâncias de viagem. No caso da abordagem aqui sugerida, estas distâncias precisam ser agregadas por domicílio, que passa a ser a unidade básica de análise nesta pesquisa. A planilha de dados originada pela pesquisa O-D passa a ter assim, além dos dados de mobilidade obtidos da própria da pesquisa, as distâncias percorridas em cada viagem, calculadas pelo SIG. Uma vez armazenados os dados no ambiente SIG, este procedimento pode ser desmembrado para cálculo dos tempos e/ou distâncias para viagens a pé, de ônibus etc., pois os deslocamentos se dão por diferentes conjuntos de vias (redes). Podem ser também calculados diferentes índices de acessibilidade para serem associados aos demais dados de cada domicílio.

### **7.3 Cálculo da acessibilidade**

Como foi amplamente detalhado nos Capítulos 2 e 3, muitos têm sido os indicadores de acessibilidade utilizados em planejamento de transportes. Dentre os mais utilizados, pode-se citar, por exemplo, os índices mencionados por ALLEN *et al.* (1993) e DAVIDSON (1995). O primeiro índice define acessibilidade somente como uma medida de esforço para superar a separação espacial entre dois pontos dentro de uma área. Ele tampouco considera características de demanda-oferta como aspectos comportamentais em seu modelo. O segundo índice é do tipo gravitacional, e leva em consideração medidas de atividades em uma determinada zona, necessitando um maior número de dados do que o primeiro. As formulações matemáticas destes modelos podem ser vistas através das formulas (3.11) e (3.28), respectivamente, no Capítulo 3.

No método aqui preconizado, os índices de acessibilidade devem ser agregados aos demais dados dos domicílios para que se possa, finalmente, construir os modelos preliminares de estimativa de potencial de viagens.

## 7.4 Redes Neurais Artificiais para obtenção de modelos preliminares

Uma vez construídos os conjuntos (grupos) de dados, os mesmos devem ser divididos, de forma aleatória, em três diferentes grupos, destinados para cada uma das três fases do modelo de Redes Neurais Artificiais (RNAs). As fases do modelo são as seguintes:

- **Treinamento** – requer 50% dos dados;
- **Validação** – requer 25% dos dados; e
- **Teste** – utiliza 25% dos dados.

Esta divisão deve ser feita três vezes, de maneira distinta para cada um dos grupos de viagens considerados, gerando três grupos distintos de dados. Uma vez definido o número de camadas escondidas, neste caso deve-se adotar apenas uma, para que se possa aplicar a metodologia de verificação de relevância das variáveis, descrita posteriormente.

Vários são as possibilidades de simulação de Redes Neurais Artificiais através de programas disponíveis no mercado. O *software* utilizado, por exemplo, por COUTINHO NETO (2000) foi o *EasyNN*<sup>23</sup>, versão 4.5; por outro lado, WERMERSCH & KAWAMOTO (1999) utilizaram em seu trabalho o programa computacional denominado SNNS<sup>24</sup>; BRONDINO (1999) e BRONDINO & SILVA (1999) usaram um programa denominado *Neural Planner*, uma versão anterior do programa *EasyNN*.

Se as três rodadas de experimentação apresentarem diferentes números de nós na camada intermediária, deve ser adotado aquela configuração que apresentar melhor desempenho, ou seja, menor erro relativo médio e maior valor de  $R^2$ . Neste caso, as experimentações com os piores resultados devem ser novamente

---

<sup>23</sup> EasyNN 2000 é um software destinado a construir Redes Neurais, desenvolvido e comercializado por Stephen Wolstenholme, Inglaterra.

<sup>24</sup> SNNS – Stuttgart Neural Network Simulator. I.P.V.R. Universität Stuttgart, Alemanha

experimentadas, porém, adotando o número de nós igual ao do experimento de melhor desempenho.

O uso de Redes Neurais Artificiais neste trabalho se deve, além da aplicação em grande número na área de transportes, citada no capítulo anterior, aos bons resultados obtidos nos trabalhos de BRONDINO (1999), BRONDINO & SILVA (1999), COUTINHO NETO (2000), e, principalmente de RAO *et al.* (1999, p.6), que apontam que “o desempenho dos modelos de RNAs provou ser bem melhor que as técnicas de regressão”.

Cada configuração de rede deve ser testada para cada um dos três grupos de dados e o erro relativo total, cuja fórmula é dada pela equação (7.2), necessita ser calculado em cada caso. O próximo passo consta do cálculo da média destes erros. Dessa forma, o valor mínimo para esta média conduzirá à melhor topologia, ou seja, à configuração de rede que fornecerá estimativas mais próximas ao valor real observado.

(7.2)

onde *OBS* representa o valor observado e *EST*, o valor estimado pelo modelo.

Além da média dos valores dos erros fornecidos pela equação (7.2), os valores do  $R^2$ , a serem obtidos pelo mesmo critério utilizado na técnica de regressão, também pode ser utilizado para verificar a adequabilidade do modelo escolhido.

Para verificar a influência (relevância) das variáveis no índice de potencial de viagens, uma vez definida a configuração de rede que apresentar um melhor resultado, NATH *et al.* (1997) sugerem que a relevância de cada variável no modelo pode ser analisada através da metodologia proposta por Garson<sup>25</sup>. Este método particiona os pesos *sinápticos* entre a camada intermediária e a de saída em componentes associados a cada nó de entrada. Assim, o peso resultante associado a

---

<sup>25</sup> GARSON, D.G. (1991). Interpreting neural-network connection weights. *AI Expert*, April. p. 47-51 apud NATH *et al.* (1997).

cada entrada é um reflexo de sua importância. Este método foi também adotado com sucesso nos trabalhos desenvolvidos por BRONDINO (1999) e BRONDINO & SILVA (1999).

O método de Garson será descrito a seguir, de maneira sintética. Inicialmente, assume-se que  $W_{ij}$  ( $i = 1, \dots, k; j = 1, \dots, p$ ) seja o peso que conecta o neurônio de entrada  $i$  com o neurônio  $j$  na camada intermediária. Da mesma forma, assume-se que  $W_{rs}$  ( $r = 1, \dots, p$ ) seja o peso que conecta o neurônio  $r$  da camada intermediária com o neurônio de saída. Então, o peso  $W_{rs}$ , independentemente de seu sinal pode ser incorporado aos pesos  $W_{ij}$ , usando a expressão (49), a seguir:

$$W_{ij}^* = \{W_{ij} / S_j\} (W_{rs}) \quad (7.3)$$

onde

$$S_j = \sum_{i=1}^k |W_{ij}|. \quad (7.4)$$

Posteriormente, para cada nó de entrada, os pesos ajustados  $W_{ij}^*$  são somados para cada um dos nós da camada intermediária, ou seja, para todo  $i$  calcula-se  $\sum_{j=1}^p w_{ij}^*$ .

Assim, a relevância da variável obtida pela equação (7.5) serve como uma medida de saliência da variável representada pelo nó de entrada.

$$Rv_i = \frac{\sum_{j=1}^p w_{ij}^*}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^p w_{ij}^*} \quad (7.5)$$

onde  $Rv_i$  é dado em porcentagem.

Uma vez identificadas as variáveis relevantes, uma nova rede deve ser treinada considerando-se apenas estas variáveis como entrada, para cada um dos modos de viagem considerados. O percentual de representação de uma variável que a torne irrelevante varia de autor para autor e também de acordo com o tema que está sendo tratado. Nos trabalhos de BRONDINO (1999) e BRONDINO & SILVA (1999), por exemplo, foram retiradas as variáveis que apresentaram valores de  $Rv_i \leq 5\%$ .

Para este novo modelo devem ser repetidos os procedimentos descritos anteriormente para os modelos preliminares, a fim de se obter aquele que melhor represente os padrões de viagens pelos modos considerados. O modelo ajustado é capaz de avaliar o que se chamou aqui de índice de potencial de viagens, que nada mais é do que uma medida conjunta de acessibilidade e mobilidade.

### **7.5 Índice de potencial de viagens**

Os resultados obtidos com o modelo proposto podem ser mapeados, permitindo uma visualização clara e imediata dos impactos que alterações nas variáveis de entrada (seja em aspectos de mobilidade ou de acessibilidade) podem produzir nos padrões de viagens. Para este procedimento, os dados de domicílios podem ser agregados em zonas de tráfego, que podem ser as mesmas consideradas na pesquisa tomada como fonte de dados. A partir das variáveis consideradas relevantes na elaboração do modelo de potencial de viagens, deve-se calcular os valores médios destas variáveis, utilizando agora não mais os dados por domicílios, mas sim agregados em zonas de tráfego.

Introduzindo os dados agora agregados em zonas de tráfego como variáveis de entrada no modelo de potencial de viagens, pode-se calcular o índice de potencial de viagens para cada uma das zonas. Os dados de saída podem ser claramente interpretados se mapeados, visualizados, por exemplo, em mapas temáticos. Os

resultados deste processamento poderão ser utilizados como subsídios no processo de tomada de decisão para a reestruturação e melhoria da oferta de transportes à população, considerando dados associados de acessibilidade e mobilidade. Em tese, estes resultados devem ser mais representativos dos padrões de viagens do que aqueles estimados com modelos que considerem apenas elementos de acessibilidade ou mobilidade de forma isolada.

## 8. ESTUDO DE CASO

*Inicialmente, é feita a caracterização da cidade adotada como estudo de caso. A seguir são descritos os seguintes passos: utilização e tratamento dos dados de uma pesquisa O-D, uma análise preliminar do padrão de viagens observado, a criação do banco de dados em SIG, cálculo da acessibilidade, desenvolvimento de modelos de potencial de viagens e, ao final, apresenta-se um exemplo de aplicação do indicador de potencial de viagens a partir de dados agregados.*

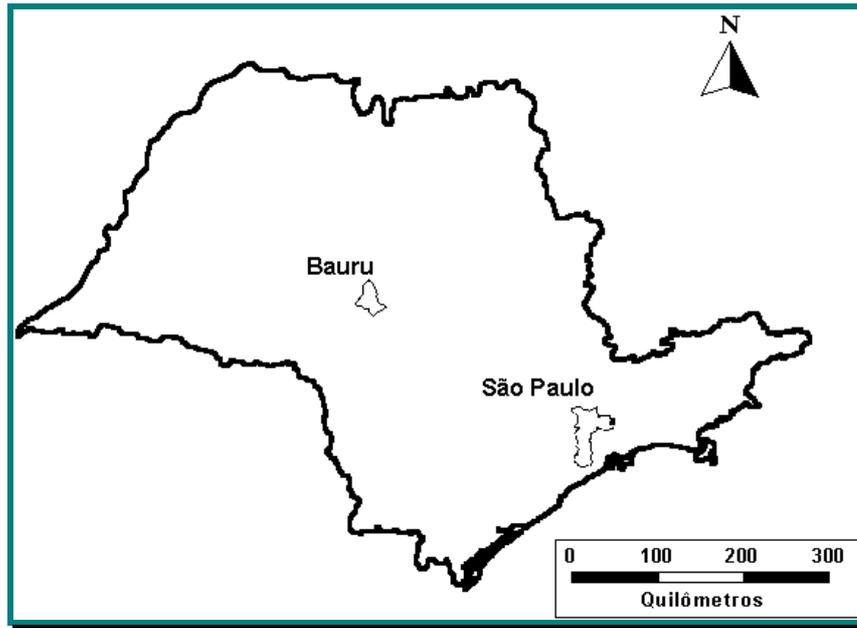
### 8.1 Caracterização da cidade de Bauru

Localizada na região centro-oeste do estado de São Paulo, a 325 km da Capital (ver Figura 8.1), Bauru tem uma população superior a 313 mil habitantes. As suas maiores fontes de renda são o comércio, que tem amplitude regional, serviços e, em menor escala, o setor industrial. A Figura 8.2 mostra duas fotos da cidade.

A cidade apresenta uma alta taxa de urbanização, 98,4% (SEADE, 2000), quando comparada com a média brasileira, 79% (em 1995). O tamanho da frota de veículos em Bauru é cerca de 125 mil veículos, em 1999, com 10 mil novos veículos colocados nas ruas por ano (LIMA, 1999). Isto representa 1 veículo para cada grupo de 2,4 moradores, um valor alto quando se considera a média nacional que era, em 1997, de 1 veículo para cada grupo de 9,4 habitantes (ANFAVEA, 1999).

O sistema de transporte coletivo por ônibus é operado por 3 empresas que transportavam cerca de 4,2 milhões de passageiros/mês, em 1996 (JC, 1999). Hoje essa demanda caiu para cerca de 3,5 milhões passageiros/mês, o que dá uma média de pouco mais de 115 mil passageiros/dia. A frota total de ônibus tem 267 veículos

(dados de junho de 1999). O sistema opera 24 horas por dia e é composto por 85 linhas, sendo 54 diametraais, 22 radiais, 03 circulares, 01 distrital e 05 noturnas. A quilometragem média mensal percorrida é de 1.700.000 Km (BAURU, 2000), com quase 100% de atendimento à área urbanizada, considerando uma faixa de atendimento de 300 m medidos a partir de cada lado da linha



**Figura 8.1 – Localização do município de Bauru no Estado de São Paulo**



**Figura 8.2 - Fotos aéreas da cidade de Bauru**

Fonte: JC (2000)

## 8.2 A utilização de dados de uma pesquisa origem-destino

Devido à sua disponibilidade, optou-se por utilizar como fonte de dados uma pesquisa origem-destino do tipo domiciliar, que foi realizada nos meses de maio e junho, que abrangeu 4 mil domicílios, na cidade de Bauru, em 1997. Nesta época, a cidade possuía pouco mais de 300 mil habitantes, com aproximadamente 89,8 mil famílias, adotando-se o número médio 3,34 pessoas por família (número obtido da própria pesquisa). Assim sendo, o número de domicílios abordados (4,5% do total) ficou bem acima do mínimo admissível sugerido por ORTÚZAR & WILLUMSEN (1994) que, para uma população entre 150 mil e 300 mil, é de 2,9%.

Apesar de ter sido feita há cerca de 3 anos, até o momento seus dados permaneciam quase que sem qualquer tratamento para que se pudesse obter as informações desejadas sobre as viagens urbanas. Isto motivou o autor a despender grandes recursos de tempo no tratamento dos dados da pesquisa, armazenados em extensas planilhas eletrônicas, para se conhecer informações consideradas importantes para o trabalho ora desenvolvido.

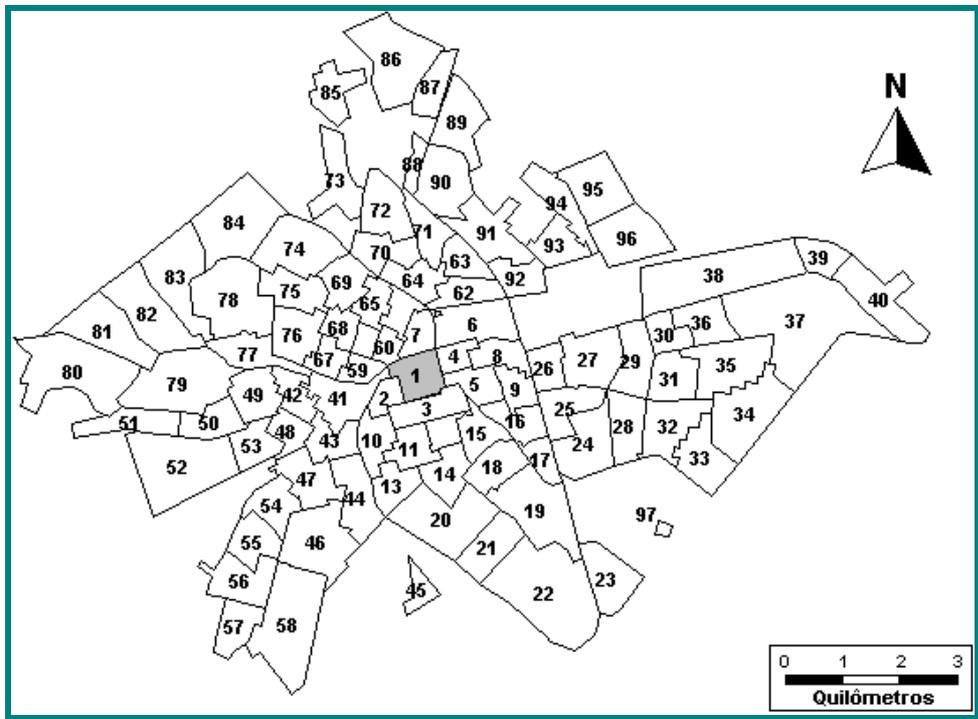
A pesquisa catalogou 23.314 deslocamentos, com dados que levaram em consideração, dentre outros, o modo de transporte utilizado em cada viagem, a idade e o grau de instrução do viajante, o horário e o motivo da viagem, a localização das origens e destinos das viagens etc. A pesquisa dividiu a área urbana em 98 zonas de tráfego, apresentadas na Figura 8.3; a ZCN-zona central de negócios, principal pólo de atração de viagens, está localizada na zona de tráfego número 1, mostrada com destaque na figura.

A base de dados da pesquisa O-D é composta por 4 partes:

- *Planilha contendo dados básicos dos endereços das viagens* - 23.314 linhas x 36 colunas, dispõe de dados relacionados às viagens, seus destinos, além da caracterização socioeconômica dos viajantes.
- *Planilha contendo os dados dos domicílios-origens das viagens* - com 4.000 linhas x 26 colunas, contém dados relacionados, principalmente,

com a caracterização dos domicílios: nome da via, número, complemento e bairro.

- *Planilha com dados da composição das famílias* - dados sobre os componentes das famílias, que realizaram ou não viagens (13.354 linhas x 26 colunas).
- *Composição das zonas de tráfego* - dados sobre a localização e limites das 96 zonas de tráfego.



**Figura 8.3– Divisão da cidade em zonas de tráfego, com destaque para a ZCN**

Inicialmente, os dados foram tratados de forma individual, ou seja, considerando-se as viagens feitas por cada pessoa, e associando a elas a renda efetivamente percebida. No entanto, percebeu-se uma séria distorção nesta abordagem, pois muitas pessoas que não tinham renda, como por exemplo, o cônjuge do cabeça de família que não trabalhasse fora, ou mesmo os filhos, também sem emprego, efetivamente realizam viagens financiadas pelo orçamento global da

família. Posteriormente, optou-se por considerar as viagens individuais realizadas por cada membro da família, associado ao valor médio de renda *per capita*, ou seja, tomou-se a renda total familiar e dividiu-se pelo número de seus componentes. Novamente verificou-se a presença de séria distorção, pois, um filho ainda sem renda estaria em iguais condições com o cabeça de família, quanto à renda percebida. Finalmente, adotou-se a abordagem de viagens realizadas pela família que, a princípio, eliminaria as distorções verificadas anteriormente.

A etapa subsequente consistiu na análise da consistência e correção dos dados, conforme sugerem ORTÚZAR & WILLUMSEN (1994). Como exemplo de inconsistência pode-se citar, principalmente, *dois tipos*: pessoas com menos de dezoito anos de idade com carteira nacional de habilitação, e viagens realizadas com motivo de trabalho e com renda declarada igual a zero. Na *primeiro tipo*, verificou-se outros dados pessoais (situação familiar, instrução etc.) para se constatar se o que estava errado era a idade ou a posse de carteira de motorista. No caso da idade estar hipoteticamente errada, a família foi descartada da planilha; se o dado da habilitação estivesse errado, corrigiu-se. No *segundo tipo*, como não seria possível identificar a renda, excluiu-se a família da amostra. Esta foi a inconsistência mais grave, pois foram identificadas e excluídas 564 famílias (16,5%) nessas condições.

Os modos de viagem considerados pela pesquisa foram 4: *automóvel/moto como motorista*, *automóvel/moto como passageiro*, *ônibus* (modos motorizados) e *bicicleta/caminhada* (modos não motorizados). Dessa forma, os dados da pesquisa foram tratados e agrupados de forma que se pudesse analisar os padrões de viagens das famílias considerando 2 enfoques básicos: o número de viagens feitas pela família e o total de quilômetros viajados, também por família. Com isso, pôde-se selecionar 10 grupos de dados:

1. Considerando o número de viagens realizadas:
  - Número de viagens por família usando qualquer modo de transporte;
  - Número de viagens por família usando o modo *automóvel/moto como motorista*;

- Número de viagens por família usando o modo *automóvel/moto como passageiro*;
  - Número de viagens por família usando o modo *ônibus*; e
  - Número de viagens por família usando o modo *caminhada/bicicleta*;
2. Considerando a distância total percorrida:
- Distância total percorrida por família usando qualquer modo de transporte;
  - Distância total percorrida por família usando o modo *automóvel/moto como motorista*;
  - Distância total percorrida por família usando o modo *automóvel/moto como passageiro*;
  - Distância total percorrida por família usando o modo *ônibus*; e
  - Distância total percorrida por família usando o modo *caminhada/bicicleta*

A distância total percorrida nada mais é do que a soma das distâncias de todas as viagens realizadas por cada família.

A metodologia usada para agrupar as viagens realizadas pelas famílias por mais de um modo de transporte foi a de prevaência na opção de viagens, ou seja, adotou-se como modo utilizado aquele com o qual a família realizou o maior número de viagens. Por exemplo, se uma determinada família realizou 10 viagens por automóvel como motorista e 6 a pé, considerou-se a família no grupo de viagens por automóvel. No caso de empate, adotou-se, por hipótese, que as pessoas têm preferência em realizar as viagens na seguinte ordem decrescente: *automóvel/moto como motorista*, *automóvel/moto como passageiro*, *ônibus* e *bicicleta/caminhada*.

Foram seis os níveis de instrução coletados pela pesquisa O-D: crianças em idade não escolar, sem instrução, primário, ginásio, colegial, superior incompleto e superior completo. Para efeito de simplificação, agrupou-se esses dados da seguinte

forma: com instrução até o primário, até ginásial, até colegial, superior incompleto e superior completo. Posteriormente, calculou-se a proporção de pessoas da família em cada um dos cinco níveis. Este mesmo procedimento foi adotado para a carteira de motorista, ou seja, calculou-se a proporção de pessoas que possuíam a habilitação para dirigir. A etapa final no tratamento dos dados obtidos da pesquisa O-D resultou na elaboração das bases de dados para os diferentes tratamentos a serem conferidos às viagens, pelos diversos modos considerados.

Para cada um desses subgrupos de viagens conforme o modo foi posteriormente acrescentado o valor do índice de acessibilidade do tipo separação espacial média (ALLEN *et al.*, 1993) referente ao endereço de origem.

### **8.2.1 Análise preliminar dos padrões de viagens**

Após o tratamento dos dados pôde-se desenvolver uma análise inicial para se conhecer alguns padrões de viagem em Bauru. Dentre os resultados obtidos estão aqueles relacionados com os tempos e extensões das viagens, os modos utilizados e os motivos das viagens, idade dos viajantes, viagens realizadas de acordo com o sexo etc. Alguns desses resultados foram comparados com aqueles obtidos por uma pesquisa origem-destino realizada, também em 1997, para a Região Metropolitana de São Paulo.

No Quadro 8.1 pode-se verificar a distribuição de viagens segundo o modo usado; os deslocamentos motorizados em Bauru (72% do total dos deslocamentos), foram proporcionalmente maiores que os obtidos da RMSP, 67%. Por conseqüência, os deslocamentos não motorizados em São Paulo (34%) foram proporcionalmente maiores que os encontrados em Bauru (28%). O uso do modo individual automóvel/moto é porcentualmente maior em Bauru (43%) do que na RMSP, 33%.

**Quadro 8.1 – Viagens realizadas segundo o modo, em Bauru e RMSP**

Modo	Bauru (%)	RMSP <sup>4</sup> (%)
Auto/moto como motorista	27,6	33,3 <sup>1</sup>
Auto/moto como passageiro	15,6	
Ônibus	28,6	32,3 <sup>2</sup>
Motorizado	71,8	65,6
A pé/bicicleta	28,2	34,4 <sup>3</sup>
Total	100	100

<sup>1</sup>Não faz distinção entre motorista e passageiro; <sup>2</sup>Ônibus, trem, metrô; <sup>3</sup>Somente a pé

Fonte: <sup>4</sup>CMSP (1998)

O motivo principal das viagens, como poderia se esperar, nos dois casos é o trabalho, com 42,2% em Bauru e 40,8% na RMSP, seguido pelo motivo estudo, com 26,2% em Bauru e 33,9% na RMSP. O Quadro 8.2 mostra a proporção de viagens entre os 6 motivos de viagem considerados para Bauru e RMSP.

**Quadro 8.2 – Viagens realizadas por qualquer modo segundo o motivo, para Bauru e RMSP**

Motivo	Bauru (%)	RMSP <sup>1</sup> (%)
Trabalho	42,2	40,8
Escola	26,2	33,9
Outros	12,1	10,1
Compras	7,9	4,5
Lazer	7,6	6,9
Saúde	4,0	3,8
Total	100	100

Fonte: <sup>1</sup>CMSP (1998)

As viagens realizadas pelas mulheres representaram a maioria dos deslocamentos feitos pelos modos *auto/moto como passageiro*, *caminhada/bicicleta* e por *ônibus*, enquanto que os homens somente predominaram no modo *auto/moto*

como motorista, em Bauru (Quadro 8.3). Isto mostra que a mobilidade das mulheres, medida por viagens realizadas, é bastante semelhante à dos homens.

A maioria dos motoristas de automóveis e motocicletas (quase 60%) realizou suas viagens com o motivo de trabalho; já os “caronas” e aqueles que fazem a opção (qualquer que seja o motivo) por andar a pé ou de bicicleta, viajaram, na maior parte dos casos, por motivos escolares. Mais de 50% dos usuários do modo ônibus usaram-no por motivos de trabalho (Quadro 8.4).

A distribuição das viagens por qualquer modo, por faixa etária, mostra que as pessoas na faixa de idade entre 14 e 25 anos foram responsáveis pela maior porcentagem de viagens (15,81%), quando se considera as classes individualmente. A segunda faixa de idade (de 14 a 18 anos), com 10,86% das viagens, foi a segunda em representatividade. A classe que menos realizou viagens foi aquela que representa as pessoas com mais de 70 anos, com apenas 2,23% do total de viagens mais. O Quadro 8.5 traz com detalhes a participação das diversas faixas etárias no total dos deslocamentos realizados em Bauru.

**Quadro 8.3 – Viagens realizadas segundo o modo e o sexo, em Bauru**

Modo	Sexo	% no modo	% no total
Auto/moto como motorista	Masculino	66,55	
	Feminino	33,45	27,59
Auto/moto como passageiro	Masculino	40,57	
	Feminino	59,43	15,56
Caminhada/bicicleta	Masculino	47,16	
	Feminino	52,84	28,21
Ônibus	Masculino	44,44	
	Feminino	55,56	28,64
Total		100	100

**Quadro 8.4 – Viagens realizadas segundo o modo e o motivo, em Bauru e RMSP**

Motivo	Auto/moto como motorista	Auto/moto como passageiro	Transporte individual (motorista e passageiro)	Caminhada/ bicicleta		Transporte coletivo		
	(viag/pessoa/dia)		(viag/pessoa/dia)	(viag/pessoa/dia)		(viag/pessoa/dia)		
	BA	BA	Σ BA	RMSP	BA	RMSP <sup>1</sup>	BA	RMSP
Trabalho	59,69	24,62	47,05	41,76	25,38	25,80	51,42	58,13
Escola	9,92	40,82	21,05	20,51	42,09	58,32	18,58	17,01
Compras	2,43	7,51	7,30	3,91	9,92	3,77	6,74	3,92
Saúde	1,18	7,07	4,79	4,26	2,04	1,66	4,87	4,95
Lazer	2,04	9,97	7,37	19,19	9,38	6,69	6,05	7,14
Outros	13,69	10,21	12,43	11,37	11,18	3,76	12,34	8,85
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

<sup>1</sup>Somente viagens a pé

Fonte: Dados da RMSP, CMSP (1998)

**Quadro 8.5 – Viagens realizadas por qualquer modo, segundo a faixa etária**

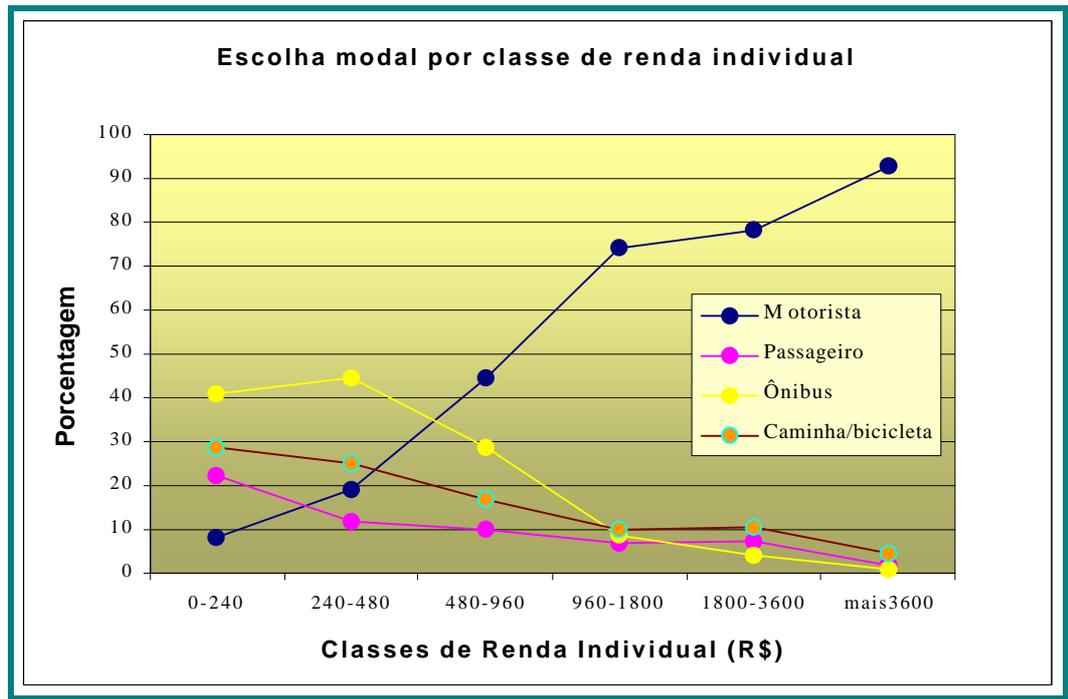
Faixa etária (anos)	% do total
até 5	3,04
de 5 a 10	6,91
de 10 a 14	7,39
de 14 a 18	10,86
de 18 a 25	15,81
de 25 a 30	8,63
de 30 a 35	8,16
de 35 a 40	9,69
de 40 a 45	7,02
de 45 a 50	6,55
de 50 a 55	4,58
de 55 a 60	3,77
de 60 a 65	2,97
de 65 a 70	2,38
mais de 70	2,23
Total	100

O tempo médio de viagem por modos não motorizados (a pé e por bicicleta) em Bauru foi de 13,1 minutos e ficou um pouco abaixo do tempo médio de viagens não motorizadas (14,1 minutos) - que incluiu somente viagens a pé - obtido no interior do estado de São Paulo (SEADE, 1998). Quase 30% das viagens não motorizadas em Bauru demoraram mais de 15 minutos, um tempo relativamente alto para esta modalidade. O Quadro 8.6 mostra mais detalhes das viagens feitas pelo modo não motorizado em Bauru.

Por fim, foram construídos os gráficos que levaram em conta as porcentagens na escolha modal, de acordo com classes de renda, tanto considerando as viagens feitas de forma *individual* (considerando o salário percebido pela pessoa), quanto por aquelas viagens realizadas e agregadas por *famílias* (considerando o total de salários percebidos por todos os membros da família), conforme mostram as Figuras 8.1 e 8.2.

**Quadro 8.6 – Tempos de viagens pelo modo não motorizado, em Bauru**

Modo não motorizado (a pé/bicicleta)	
Tempo viagem (minutos)	(%)
Até 5	24,7
de 5 a 10	25,5
de 10 a 15	19,1
de 15 a 20	12,6
de 20 a 25	2,5
de 25 a 30	10,6
de 30 a 45	2,5
de 45 a 60	1,6
mais de 60	0,9
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>



**Figura 8.4– Escolha modal por classe de renda individual, em Bauru**

Considerando-se, inicialmente, as viagens feitas individualmente, obteve-se que a escolha pelo modo *auto/moto como motorista* cresce continuamente à medida em que cresce a renda; por outro lado, aumentando-se continuamente a renda, decresce a escolha pelos modos *auto/moto como passageiro* e *a pé/bicicleta*. A escolha pelo modo *ônibus* aumenta quando se passa da primeira classe de renda (de 0 a R\$240) para a segunda classe (de R\$240 a 480), porém diminuindo continuamente a partir desta. O modo caminhada/bicicleta é cada vez menos usado com o aumento da renda, com exceção para a faixa mais baixa de renda familiar, onde o modo é mais escolhido pelas famílias da segunda classe de renda. Fica claro a influência da renda na escolha modal

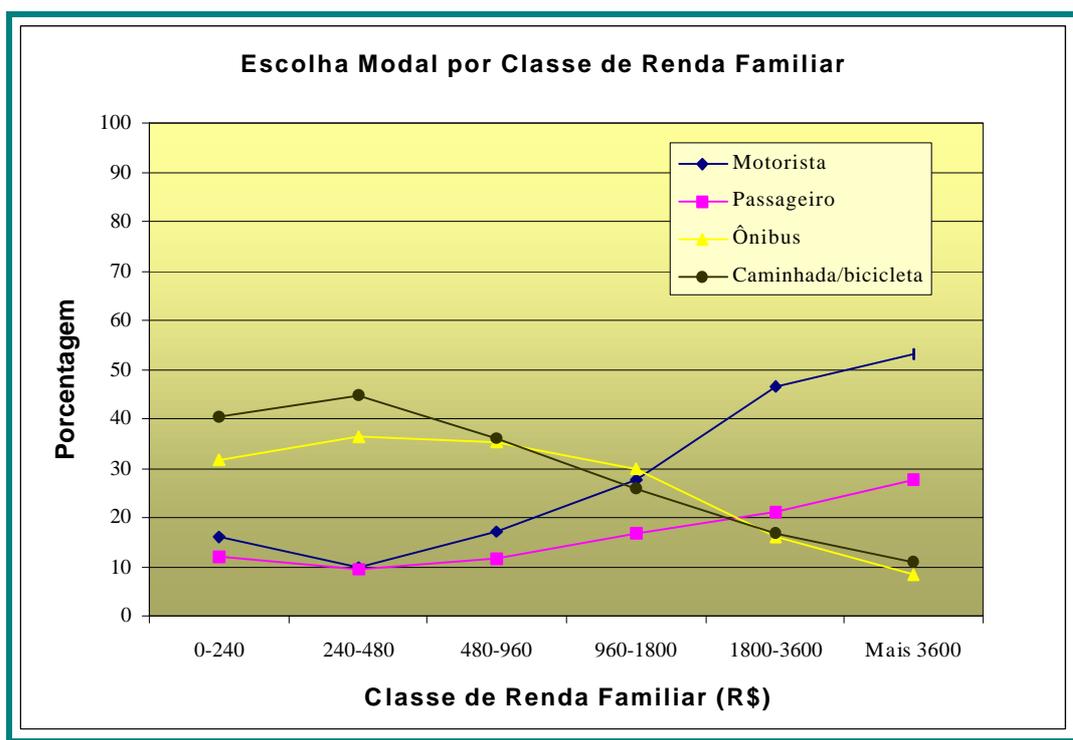


Figura 8.5- Escolha modal por classe de renda familiar, em Bauru

### 8.3 A elaboração da base de dados em SIG

A base de dados da cidade foi construída em um Sistema de Informações Geográficas, denominado TransCAD<sup>26</sup>, versão 3.0. A base é composta por diversos tipos de feições: eixos de ruas, quadras, nomes de ruas, número das quadras, trajetos de linhas de ônibus, zonas de tráfego, rios e córregos, traçado ferroviário etc.

O primeiro passo na elaboração da base de dados georreferenciada foi a captura de um mapa do perímetro urbano de Bauru (de 1991), obtido em cópia heliográfica, em escala 1:20.000, através de um *scanner*. O arquivo produzido foi do tipo *raster* (com tamanho de 10,2 MBytes), com extensão “tif”, que passou a servir de “pano de fundo” no ambiente SIG para posterior digitalização, via tela, dos 2 arquivos: eixos

<sup>26</sup> Caliper Corporation. 1172 Beacon Street, Newton, Massachusetts, USA.

de vias e quadras. Estes dois arquivos são considerados básicos e serviram para a confecção de diversos outros arquivos.

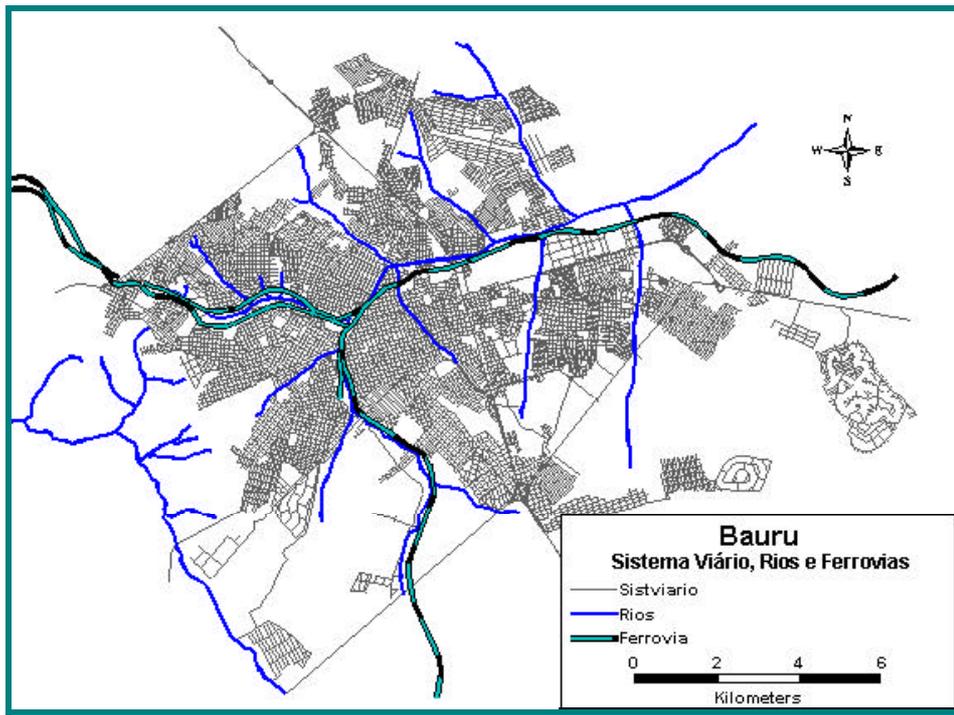
O arquivo de quadras foi o primeiro a ser construído, contendo um total de 6.730 quadras. Tendo como “pano de fundo” o arquivo *raster* e o arquivo de quadras sobreposto, pôde-se digitalizar, também via tela, o mapa com os eixos de ruas, que ao final contém 17.128 segmentos de vias e 10.587 *endpoints* (pontos de início e fim de segmentos), usados como cruzamentos ou pontos finais de vias sem conexão.

O passo seguinte foi a digitalização dos nomes dos segmentos de vias, para o qual foram usados os chamados “mapas de setores” da cidade (escala 1:5.000), que está dividida em 7 setores, de 1999, disponibilizados pela Prefeitura Municipal. Estes dois arquivos foram fundamentais na etapa do cálculo das distâncias de viagem e da acessibilidade. A Figura 8.6 mostra o mapa de eixos de vias produzido, enquanto que a Figura 8.7 mostra um detalhe deste mapa com os nomes de algumas ruas. A Figura 8.8 mostra um detalhe da numeração das quadras.

O método de localização de ruas existente na Lista Telefônica de Bauru foi também utilizado de forma complementar na preparação do arquivo digital com os nomes das ruas. Os mapas de setores serviram, paralelamente, para a atualização do mapa do perímetro urbano, que estava desatualizado em pelo menos 8 anos.

Uma vez que as vias passaram a ter seus nomes inseridos, pôde-se, então, atribuir os números das quadras, pois a cidade de Bauru tem os lotes numerados pelo sistema de número da quadra associado ao número do lote. Por exemplo, o endereço “Rua Gerson França, 18-82”, corresponde ao número 82 da quadra 18 da Rua Gerson França.

A partir do mapa de eixos de vias, utilizando recursos da ferramenta *route system* do TransCAD, foram digitalizadas as linhas de transporte coletivo urbano, apresentadas na Figura 8.9.



**Figura 8.6 – Mapa de eixos de vias de Bauru**

Construída a base de dados de logradouros, a localização dos 4 mil domicílios, no SIG, foi feita, de forma individual, a partir dos endereços disponibilizados na pesquisa O-D (ver Figura 8.10). Os pontos de início e fim das viagens foram localizados com o auxílio da ferramenta *address matching*, do TransCAD. Neste processo, a ferramenta do *software* adota como local de origem um dos cruzamentos mais próximos ao endereço de origem e, como destino, o próprio cruzamento de destino, dado este coletado na pesquisa. Este processo conseguiu localizar, no total, 8.984 origens e destinos relacionados, ou seja, viagens. Há que se ressaltar que várias viagens tinham mesmas origens (membros de uma mesma família, por exemplo) e/ou destinos (principalmente nas zonas com maior atratividade).

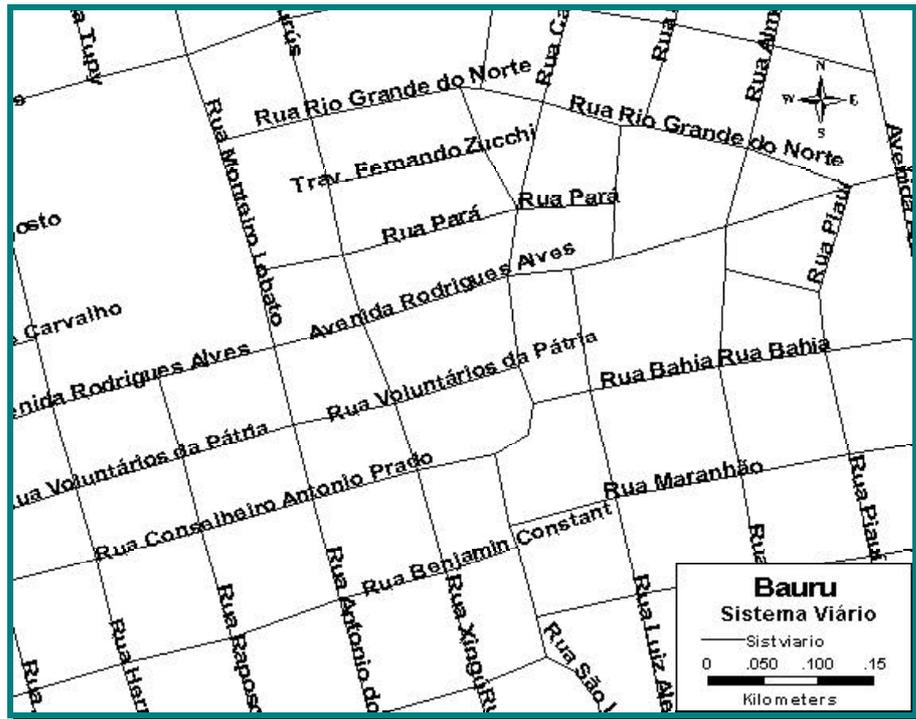


Figura 8.7 – Detalhe do mapa de Bauru com o nome de ruas

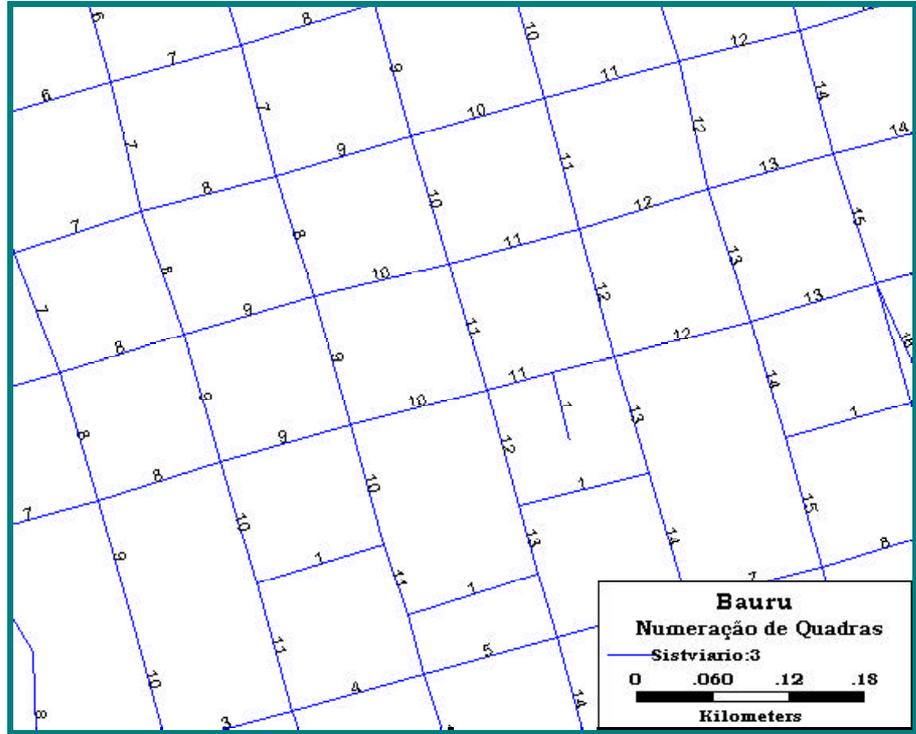


Figura 8.8– Numeração específica de quadras de Bauru

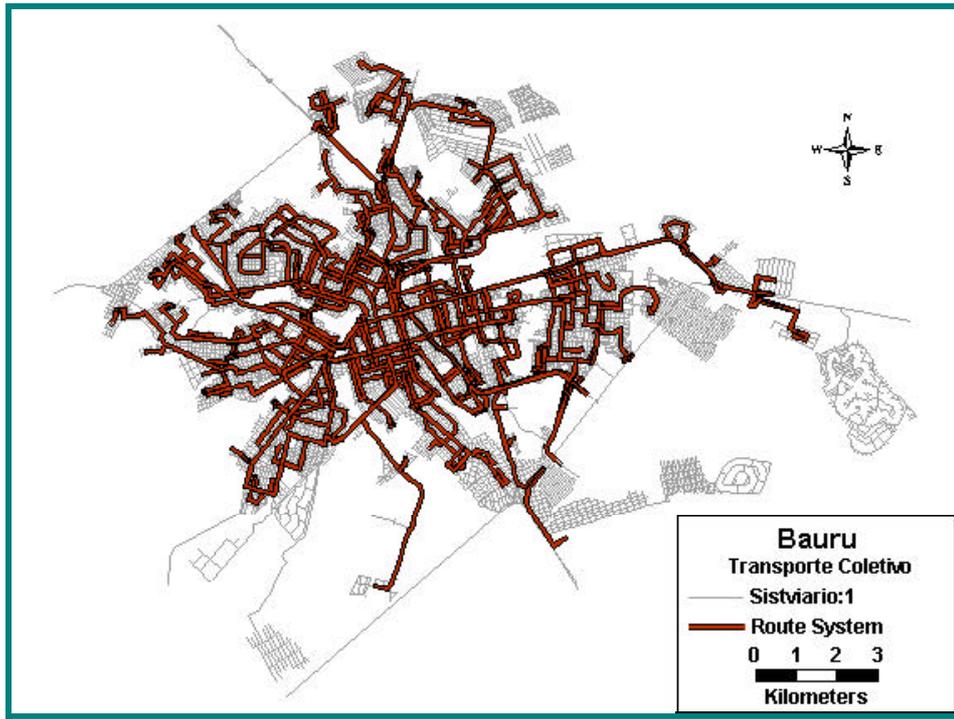


Figura 8.9 – Linhas de transporte coletivo de Bauru

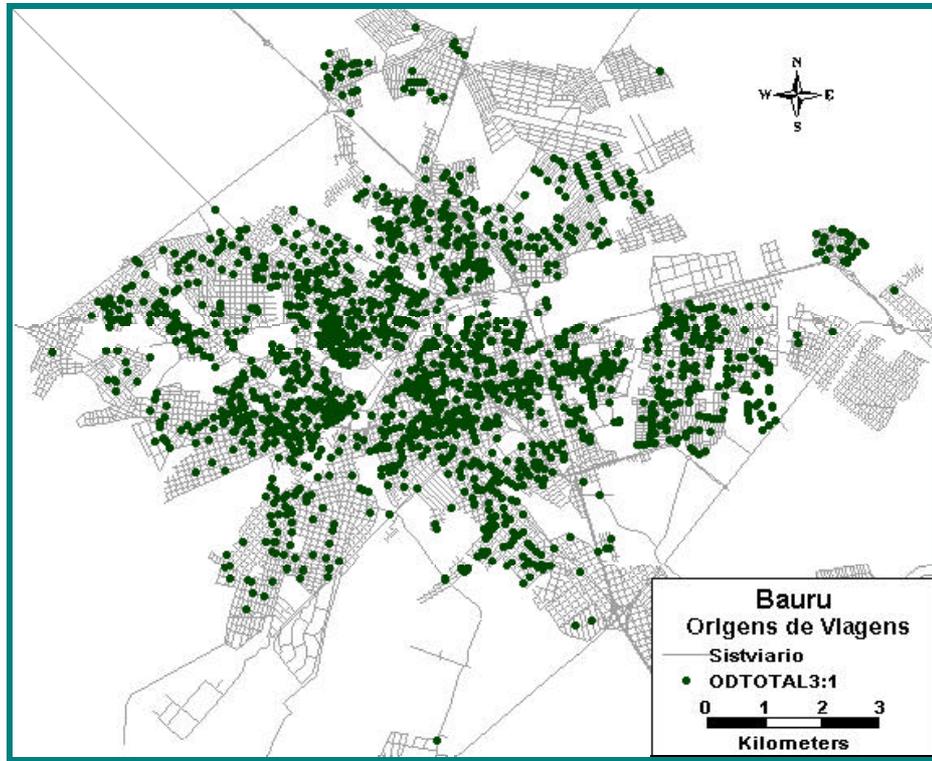


Figura 8.10– Localização dos domicílios-origem das viagens

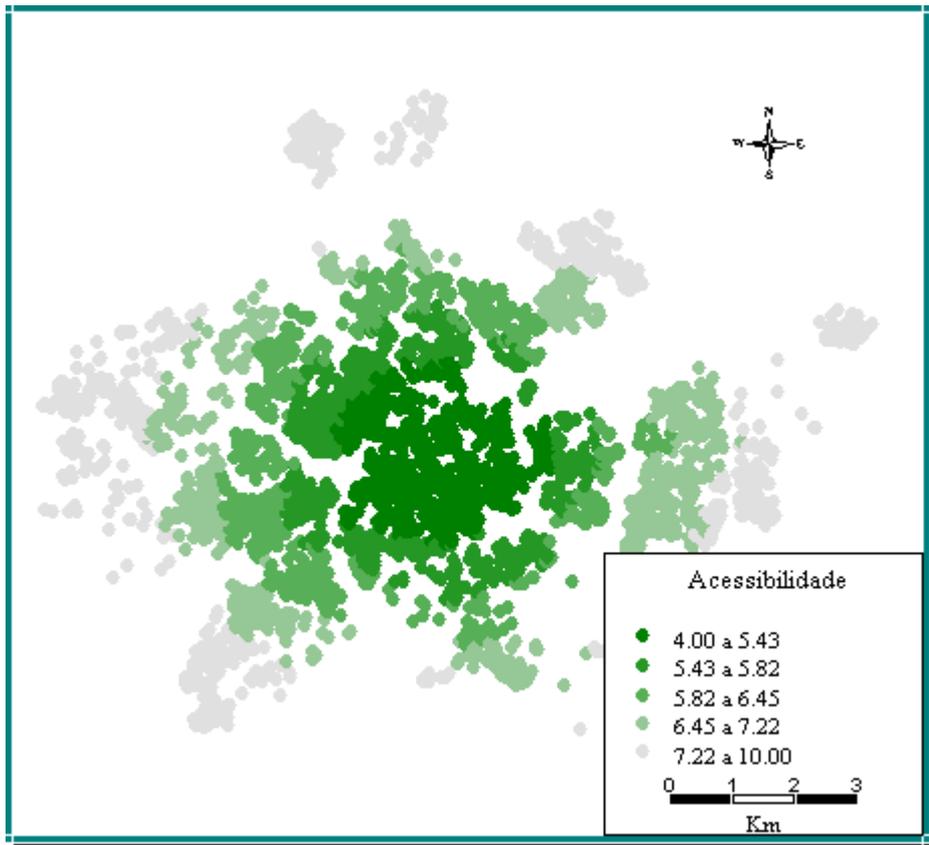
## 8.4 Cálculo da acessibilidade

Uma etapa inicial, como preparação para o cálculo da acessibilidade, foi desenvolvida. O arquivo de eixo de vias da cidade foi usado para a criação de uma rede, estrutura necessária para o cálculo de menores caminhos. Para tal, utilizou-se a ferramenta *network create*, do TransCAD. Antes de se utilizar a rede para os cálculos, procedeu-se a verificação da consistência da rede criada, através da metodologia proposta por RAIA Jr. & SILVA (1998).

A acessibilidade foi calculada para todos os nós (*endpoints*) da rede através de um indicador do tipo separação média entre pontos, como citado em ALLEN *et al.* (1993), já descrito no Capítulo 3.

Uma matriz de distância entre nós (10.587 linhas x 10.587 colunas, totalizando 112.084.569 células), com o menor caminho de cada nó para todos os demais nós foi construída através da ferramenta *matrix*, do TransCAD. As distâncias médias para os pares de pontos foram igualmente calculada usando-se o *software*. A Figura 8.11 apresenta uma mapa temático com a acessibilidade calculada dos domicílios, dividida em cinco classes, sendo que os valores menores representam distâncias médias menores e, portanto, maior acessibilidade. Os moradores da região central, como seria esperado, são aqueles que possuem maior índice de acessibilidade. Por consequência, a região periférica é a que oferece menor acessibilidade aos seus moradores.

Os índices de acessibilidade foram, então, agregados aos demais dados de viagem das famílias para que se pudesse, finalmente, aplicar as Redes Neurais para a obtenção de modelos de estimativa de potencial de viagens, ou seja, uma medida integrada de acessibilidade e mobilidade.



**Figura 8.11 – Mapa temático de acessibilidade contendo a separação média entre nós**

### 8.5 Aplicação de Redes Neurais

Os dez conjuntos de dados gerados e descritos anteriormente, tiveram inicialmente seus exemplos (dados) dispostos, de forma aleatória, em três novos conjuntos. Posteriormente, cada um desses novos conjuntos foi subdividido, de acordo com a metodologia sugerida para uso no *software EasyNN*, em três subconjuntos, ou seja 50% dos exemplos destinados para *treinamento*, 25% para *validação* e 25% para *teste*. O primeiro subconjunto é utilizado para o aprendizado da Rede Neural; o segundo, é usado para a observação da eficácia da RNA quanto à capacidade de generalização durante a fase de treinamento, enquanto que, o terceiro subconjunto serve para a verificação do comportamento da Rede sob situações reais de utilização.

A topologia empregada pelo *EasyNN* é a *Multilayer Perceptron* (MLP) com até três camadas escondidas (*hidden layer*) e o algoritmo usado para o aprendizado (*learning*) é do tipo *Backpropagation*. Como já citado anteriormente, a arquitetura de rede adotada neste trabalho é de apenas um camada intermediária, para que a metodologia de Garson, usada na avaliação da relevância das variáveis de entrada, fosse aplicada.

A escolha da melhor arquitetura de rede a ser adotada foi feita após serem rodados os três conjuntos de exemplos para cada modalidade de viagem estudada. Inicialmente, rodou-se cada um das três conjuntos de forma independente, ficando a tarefa para o simulador de encontrar a melhor arquitetura para cada um. A seguir, se as arquiteturas obtidas pelo simulador tivessem diferentes números de nós na camada intermediária, adotar-se-ia o número de nós daquela camada que apresentou menor erro médio durante a fase de treinamento. Com este número de nós na camada intermediária, agora pré-definido, rodou-se novamente os conjuntos de exemplos que obtiveram pior desempenho (se o número de nós tivesse sido diferente do melhor caso). Portanto, com os três conjuntos rodados com arquiteturas semelhantes, pode-se escolher, finalmente, o conjunto que apresentou menor erro médio. Para os três conjunto foi, então aplicado o método de Garson.

Os dados de entrada (*inputs*) utilizados para todos os casos foram: renda familiar, número de pessoas da família, proporção de pessoas da família com instrução até o nível primário, até o nível ginásial, até o nível colegial, com superior incompleto e superior completo, além da porcentagem de pessoas da família que possuíam carteira de habilitação. Além desses, foi adicionado o valor da acessibilidade de cada família, dada pelo ponto da origem das viagens, ou seja, a residência. Os dados de saída (*output*) foram número de viagens realizadas e distância percorrida nas viagens, em ambos os casos considerando como unidade básica a família.

A seguir, serão apresentados os modelos preliminares obtidos para os dez conjuntos de dados.

### 8.5.1 Modelos preliminares

Uma vez tendo selecionado e tratado os dados relacionados à mobilidade e calculado os índices de acessibilidade para cada grupo de família, pôde-se agora, a partir de Redes Neurais Artificiais, obter o modelos preliminares de potencial de viagens para fins de planejamento estratégico, para os dois tipos de variáveis de saída considerados: *número de viagens realizadas* por família e *distância percorrida nas viagens* por família.

Para cada conjunto de dados a ser rodado, no que se poderia ser chamado de calibração dos modelos, o *software* simulador de Redes Neurais *EasyNN* estabelece a taxa de aprendizagem (*learning rate*), ou seja, o quão suavemente se dará a atualização dos pesos, e o *momentum*, que tem a função de acelerar, se for o caso, a velocidade de treinamento da rede. Um erro alvo (*target error*) é atribuído no início do processo de treinamento pelo operador e pode ser reduzido todas as vezes que o processo de treinamento conseguir atingir esta meta inicial estipulada.

Posteriormente, tendo-se os números de viagens (ou distâncias percorridas) observadas na pesquisa e os números de viagens (ou distâncias percorridas) calculados pelo modelo, pôde-se calcular o *erro relativo* para cada predição e o erro médio para o conjunto de predições. Finalmente, usando a metodologia de Garson, pôde-se avaliar a relevância que cada variável de entrada teve no modelo preliminar. Esse procedimento aqui descrito é repetido para todos os conjuntos (cada conjunto possui 3 subconjuntos) e terão os seus resultados, de forma sintetizada, apresentados a seguir.

#### 8.5.1.1 Modelos construídos considerando o número de viagens

Este conjunto de dados é composto por cinco subconjuntos: número de viagens por todos os modos (com dados de 3058 famílias), número de viagens pelo modo auto/moto como motorista (1320 famílias), número de viagens pelo modo auto/moto como passageiro (246 famílias), número de viagens pelo modo ônibus (770 famílias), e número de viagens pelo modo caminhada/bicicleta (736 famílias).

Os resultados das simulações dos modelos para os quinze subconjuntos, tais como o número de nós na camada intermediária (*hidden layer*) e o erro alvo adotado estão apresentados no Quadro 8.7. O quadro traz também os erros médios e os valores de  $R^2$  para cada subconjunto. O Quadro 8.8, por sua vez, apresenta a relevância de cada uma das nove variáveis de entrada nos modelos obtidos para os quinze subconjunto de dados.

Conforme pode ser observado no Quadro 8.7, os valores obtidos para  $R^2$  e média de erros para cada subconjunto, bem como os erros médios dos cinco conjuntos, calculados através da média aritmética dos três subconjuntos que os compõem, não foram bons. Ainda assim, os melhores resultados obtidos foram aqueles apresentados pelos modelos preliminares que levaram em conta o número de viagens realizadas por todos os modos. Apesar dos  $R^2$  calculados para estes três subconjuntos ficarem próximos de 35%, existe uma tendência clara entre os valores observados e os preditos pelos modelos preliminares. A Figura 8.12 apresenta os gráficos de dispersão para os subconjuntos 1, 2 e 3, para o número de viagens por todos os modos.

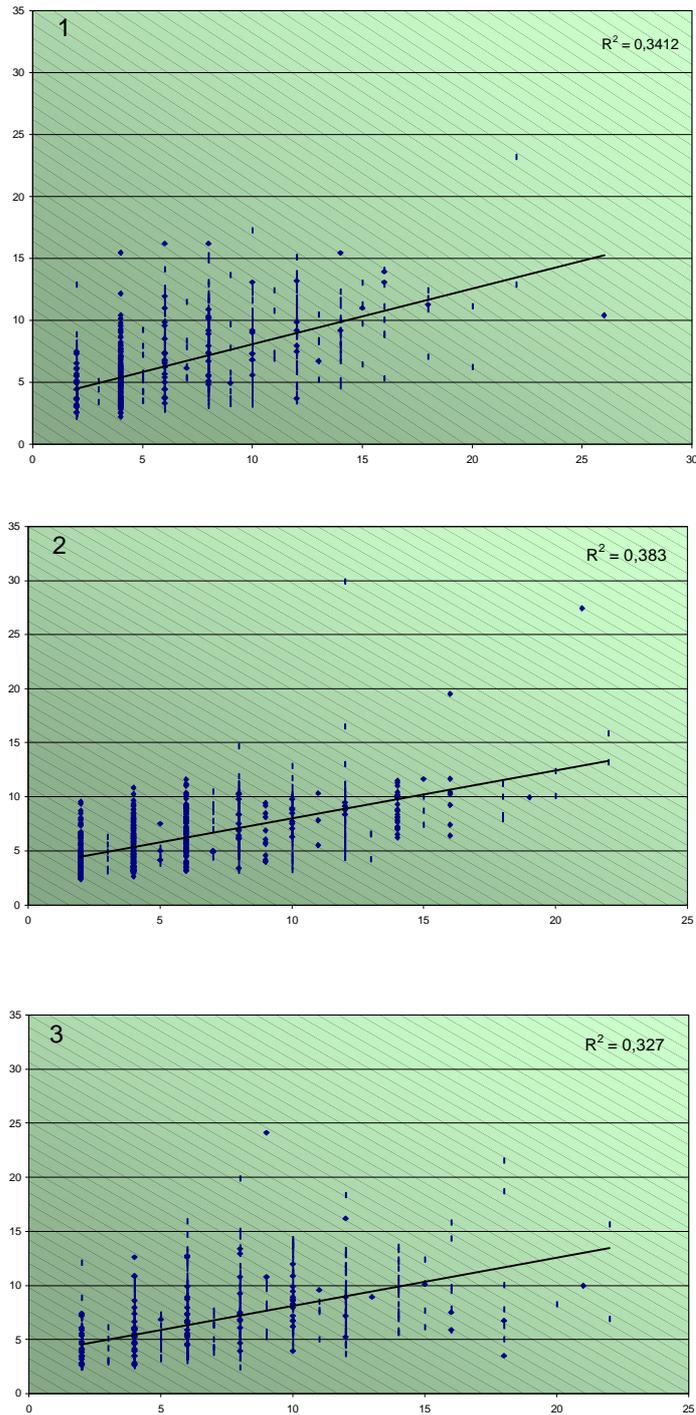
**Quadro 8.7 - Resultados das simulações dos modelos, usando todas as variáveis de entrada, considerando o número de viagens**

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	NÓS NA CAMADA INTERMEDIÁRIA	ERRO ALVO	MÉDIA ERROS	ERRO MÉDIO CONJUNTO	R <sup>2</sup> (%)
nº de viagens todos modos	1	7	0,05	47,65		34,12
	2	7	0,05	50,97	49,41	38,30
	3	7	0,05	49,61		32,70
nº de viagens auto/moto como motorista	1	8	0,05	92,15		4,24
	2	8	0,05	56,09	64,32	6,20
	3	8	0,05	44,73		21,84
nº de viagens auto/moto como passageiro	1	6	0,05	58,16		9,22
	2	6	0,05	63,38	55,90	2,88
	3	6	0,05	46,17		11,01
nº de viagens por ônibus	1	7	0,05	46,70		7,82
	2	7	0,05	45,53	48,06	12,19
	3	7	0,05	51,96		20,35
nº de viagens caminhada/ bicicleta	1	7	0,05	51,60		22,67
	2	7	0,05	48,69	49,48	15,47
	3	7	0,05	48,15		21,35

**Quadro 8.8 - Relevância de cada variável de entrada nos modelos que levaram em consideração o número de viagens**

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	RENDA FAM.	Nº PESS.	ATÉ PRIM.	ATÉ GIN.	ATÉ COL.	SUP. INC.	SUP. COMP.	CNH	ACESS.
nº de viagens todos modos	1	16,67	17,37	11,85	12,58	12,79	6,68	9,48	7,73	5,15
	2	8,05	39,62	18,12	7,30	6,99	5,32	7,00	6,05	1,55
	3	13,12	14,42	7,53	9,17	17,51	11,38	16,82	3,92	6,13
nº de viagens auto/moto como motorista	1	14,86	10,15	10,37	8,14	2,71	13,94	5,37	10,47	23,97
	2	6,82	23,12	15,34	3,27	13,29	3,36	5,63	11,40	17,77
	3	27,17	12,56	10,79	15,31	6,60	3,43	7,47	8,91	7,75
nº de viagens auto/moto como passag.	1	9,82	8,88	4,97	12,30	5,11	9,45	9,62	14,48	25,37
	2	13,11	12,39	9,83	11,58	8,24	8,46	11,39	12,49	12,50
	3	11,58	8,59	11,79	10,65	19,12	7,31	6,93	17,96	6,07
nº de viagens por ônibus	1	15,99	20,10	12,42	4,64	1,96	13,37	8,78	6,06	16,70
	2	9,41	20,27	17,15	5,25	14,33	3,92	8,23	12,14	9,31
	3	5,16	15,23	5,32	14,49	19,37	5,72	6,58	18,22	9,92
nº de viagens caminhada/bicicleta	1	20,37	34,11	3,76	6,89	5,44	5,65	9,15	9,98	4,65
	2	17,24	19,95	7,95	10,05	5,47	11,04	11,72	10,33	6,24
	3	23,57	14,07	6,43	10,54	9,27	7,17	11,81	8,83	8,32
MÉDIA ⇒		14,20	18,06	10,24	9,48	9,88	7,75	9,07	10,60	10,76

Dentre as variáveis de entrada usadas nos 15 subconjuntos considerados, as que apresentaram maior relevância quando se considerou a média entre todos os modelos foram: número de pessoas, renda familiar, posse de carteira de habilitação e acessibilidade. As variáveis relacionadas ao grau de instrução dos membros das famílias e a posse de carteira de habilitação tiveram significâncias menores e pareciam dificultar o aprendizado do modelo, provavelmente devido à falta de um padrão bem definido entre essas variáveis e a variável renda familiar, por exemplo.



**Figura 8.12 – Gráficos de dispersão entre os números de viagens observados e de viagens previstas pelo modelo para viagens por todos os modos**

O comportamento da variável *posse de carteira de habilitação* foi muito estranho em alguns modelos, como por exemplo, nos modelos de viagens por *auto/moto como motorista*. Para realizar a viagem por este modo, por lei, o viajante necessariamente precisa ser habilitado; no entanto, a relevância desta variável foi menor para esses três modelos quando comparada com a sua relevância nos modelos para o modo *auto/moto como passageiro*. Assim, a variável parece não explicar bem a realização de viagens por estes modos.

#### **8.5.1.2 Modelos construídos considerando a distância total percorrida**

Este conjunto de dados é composto por cinco subconjuntos: distância percorrida nas viagens por todos os modos (com dados de 2693 famílias), distância percorrida nas viagens pelo modo auto/moto como motorista (1182 famílias), distância percorrida nas viagens pelo modo auto/moto como passageiro (215 famílias), distância percorrida nas viagens pelo modo ônibus (769 famílias), e distância percorrida nas viagens pelo modo caminhada/bicicleta (577 famílias).

Os resultados das simulações dos modelos para os quinze subconjuntos, tais como o número de nós na camada intermediária (*hidden layer*) e o erro alvo adotado estão apresentados no Quadro 8.9. O quadro traz também os erros médios e os valores de  $R^2$  para cada subconjunto. O Quadro 8.10, por sua vez, apresenta a relevância de cada uma das nove variáveis de entrada nos modelos obtidos para os quinze subconjunto de dados.

Conforme pode ser observado no Quadro 8.9, os valores obtidos para os  $R^2$  e as médias de erros para cada subconjunto, bem como os erros médios dos cinco conjuntos que usaram como variável de saída a distância percorrida nas viagens, não só não foram bons, como tiveram pior desempenho quando comparado com os cinco conjuntos anteriores. De maneira global, os melhores resultados obtidos foram também aqueles apresentados pelos modelos preliminares que levaram em conta a distância percorrida nas viagens realizadas por todos os modos, ainda que com desempenho inferior ao modelo que considerou o número de viagens.

**Quadro 8.9 - Resultados das simulações dos modelos, usando todas as variáveis de entrada, considerando a distância percorrida nas viagens**

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	NÓS NA CAMADA INTERMEDIÁRIA	ERRO ALVO	MÉDIA ERROS	ERRO MÉDIO	R <sup>2</sup> (%)
distância percorrida nas viagens todos modos	1	7	0,05	124,95		22,49
	2	7	0,05	128,84	134,85	20,74
	3	7	0,05	150,76		31,57
distância percorrida nas viagens auto/moto motorista	1	7	0,05	239,69		10,86
	2	7	0,05	69,12	118,16	9,67
	3	8	0,05	45,66		3,30
distância percorrida nas viagens auto/moto passageiro	1	7	0,05	281,29		11,70
	2	7	0,05	350,65	220,21	1,48
	3	7	0,05	28,70		80,07
distância percorrida nas viagens por ônibus	1	7	0,05	196,40		7,80
	2	7	0,05	76,23	123,12	16,64
	3	7	0,05	96,73		0,64
distância percorrida nas viagens caminhada/bicicleta	1	7	0,05	57,34		4,54
	2	7	0,05	72,11	181,16	8,34
	3	7	0,05	414,02		5,38

De forma isolada, o valor de R<sup>2</sup> obtido para o terceiro subconjunto, considerando o modo auto/moto como passageiro, foi de 80,07% e a média de erro foi de 28,70%. Esses resultados foram os melhores, individualmente considerando, dentre todos os trinta modelos desenvolvidos. No entanto, este conjunto de modelos possui também o pior resultado individual (R<sup>2</sup> = 1,48% e média de erros de mais de 350%).

**Quadro 8.10 - Relevância de cada variável de entrada nos modelos que levaram em consideração a distância percorrida nas viagens**

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	RENDA FAM.	Nº PESS.	ATÉ PRIM.	ATÉ GIN.	ATÉ COL.	SUP. INC.	SUP. COMP.	CNH	ACESS.
distância percorrida nas viag. todos os modos	1	16,77	16,37	12,21	4,71	12,14	6,61	6,32	13,16	11,70
	2	15,07	15,81	6,68	6,44	7,13	18,70	11,02	10,50	8,64
	3	29,98	10,53	10,51	5,39	8,49	4,44	8,10	10,18	13,38
distância percorrida nas viag auto/moto motorista	1	9,82	8,88	4,97	12,30	5,11	9,45	9,62	14,48	25,37
	2	16,41	11,43	9,79	8,71	10,02	15,31	4,04	14,80	9,48
	3	11,58	8,59	11,79	10,65	19,12	7,31	6,93	17,96	6,07
distância percorrida nas viag auto/moto passag.	1	11,13	12,96	8,03	6,68	12,38	4,78	19,04	17,33	7,68
	2	19,26	8,19	12,45	8,39	6,72	7,90	12,52	14,64	9,94
	3	11,37	8,72	15,53	9,33	12,81	9,56	5,66	13,54	13,49
distância percorrida nas viag por ônibus	1	15,99	20,10	12,42	4,64	1,96	13,37	8,78	6,06	16,70
	2	9,41	20,27	17,15	5,25	14,33	3,92	8,23	12,14	9,31
	3	5,16	15,23	5,32	14,49	19,37	5,72	6,58	18,22	9,92
distância percorrida nas viag caminhada/bicicleta	1	22,22	11,93	5,07	6,59	8,25	9,67	5,18	17,15	13,96
	2	25,91	5,94	5,08	14,32	8,70	9,19	3,71	11,02	16,12
	3	9,67	24,94	3,56	6,64	3,96	14,16	6,79	12,73	17,54
MÉDIA ⇒		15,32	13,33	9,37	8,30	10,03	9,34	8,17	13,59	12,62

De maneira geral, os modelos que adotaram como variável de saída o número de viagens tiveram desempenho superior do que aqueles que tinham a distância percorrida nas viagens como variável de saída. Em vista disso, será tomado dentre aqueles o que melhor desempenho apresentou para experimentar a exclusão das variáveis de entrada como desempenho mais fraco: aquelas relacionadas ao grau de instrução e a posse de carteira de habilitação. Dessa maneira, foi experimentado um novo conjunto adotando como variável de saída o número de viagens e, como variáveis de entrada, a renda familiar, o número de pessoas e a acessibilidade.

Da mesma forma como ocorrera anteriormente, para esse conjunto montou-se três subconjuntos distintos com seqüências de dados aleatoriamente modificadas. Repetiu-se os mesmos procedimentos adotados para os trinta modelos anteriormente experimentados, cujos resultados estão reportados a seguir. O Quadro 8.11 mostra os resultados das simulações dos modelos para os três subconjuntos: o número de nós na camada intermediária, o erro alvo adotado, os erros médios e o valor de  $R^2$  para cada subconjunto. O Quadro 8.12, por sua vez, apresenta a relevância de cada uma das três variáveis de entrada.

**Quadra 8.11 - Resultados das simulações dos modelos, usando todas as variáveis de entrada, considerando o número de viagens**

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	NÓS NA CAMADA INTERMEDIÁRIA	ERRO ALVO	MÉDIA ERROS	ERRO MÉDIO CONJUNTO	$R^2$ (%)
nº de viagens todos os modos	1	4	0,05	57,79		34,37
	2	4	0,05	53,82	53,86	35,44
	3	4	0,05	49,97		35,96

A simplificação do modelo que possuía anteriormente 9 variáveis de entrada para apenas 3, não alterou significativamente os resultados: os  $R^2$  para os três subconjuntos ficaram todos muito próximos de 35%, enquanto que a média de erros subiu ligeiramente, de 49,41% para 53,86%.

A variável número de pessoas foi aquela que se apresentou como sendo a mais relevante, seguida pela renda familiar e, por último, a acessibilidade. Esta, embora sendo a menos importante das três, ainda assim apresenta uma relevância que não pode ser desprezada. Este procedimento poderia ser estendido aos demais modos de transportes considerados neste trabalho; no entanto, por efeito de simplificação, foi desenvolvida apenas uma aplicação que servirá de exemplo do uso da metodologia apregoada.

**Quadro 8.12 - Relevância de cada variável de entrada nos modelos que levaram em consideração a distância percorrida nas viagens**

CONJUNTO	SUBCONJUNTO	RENDA FAM.	Nº PESS.	ACESS.
distância	1	28,96	69,81	1,24
percorrida nas	2	20,93	48,53	30,54
viag. todos os	3	67,89	27,79	4,33
modos				
	MÉDIA ⇒	39,26	47,71	12,03

Os resultados obtidos pelo modelo com apenas três variáveis de entrada praticamente reproduziram o desempenho do modelo que continha nove variáveis. Isto sugere que uma fonte de dados mais simples do que a pesquisa origem-destino, reconhecida como sendo muito dispendiosa, poderia ser usada para a construção de modelos de potencial de viagens, para fins de planejamento estratégico. Utilizando este novo modelo mais “enxuto”, pôde-se desenvolver a última etapa deste trabalho, ou seja, o desenvolvimento de um índice potencial de viagens.

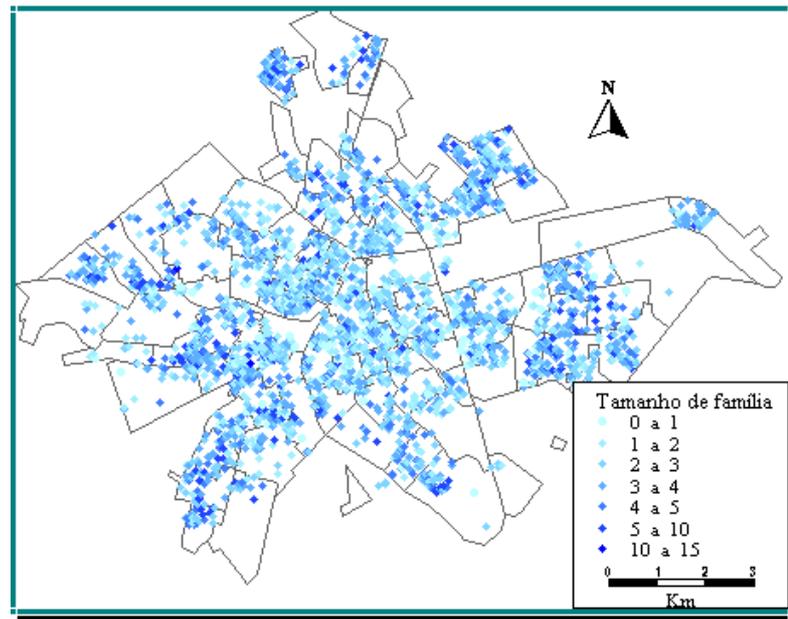
### 8.6 Índice de potencial de viagens

Utilizando o modelo simplificado apresentado na seção anterior, pôde-se produzir um exemplo de aplicação do índice de potencial de viagens a partir de dados agregados em zona de tráfego. Como a última pesquisa realizada pelo Censo populacional brasileiro foi feita há quase 10 anos, optou-se por utilizar os dados da própria pesquisa origem-destino para produzir o mapeamento. Para isso, procurou-se agregar os dados de domicílios em zonas de tráfego (as mesmas adotadas pela pesquisa O-D). É evidente que ao usar a mesma fonte de dados usada na calibração dos modelos fica inviabilizada qualquer tentativa de comparação dos resultados para fins de aferição. Na realidade, assume-se nesse caso que os modelos calibrados reproduzem satisfatoriamente os padrões de viagens reais, com base nos resultados dos testes anteriormente realizados (erro médio e  $R^2$ ). Ainda assim, far-se-á uma avaliação do desempenho do novo modelo verificando a correlação que guardam seus resultados com os dados de viagens reais e comparando-a com a correlação

existente entre os valores da medida de acessibilidade convencional e os dados de viagens reais.

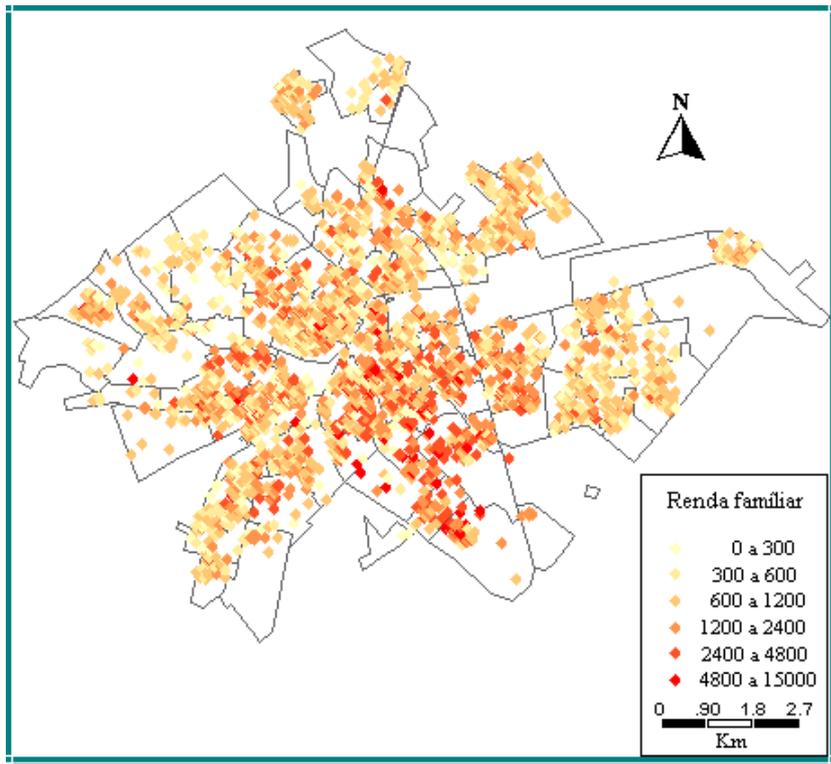
Utilizando as variáveis que se mostraram relevantes na elaboração do modelo potencial de viagens, ou seja, renda familiar, número de pessoas da família e acessibilidade, pôde-se calcular os valores médios destas variáveis, utilizando agora não mais os dados por domicílios, mas sim agregados em zonas de tráfego.

Para que se pudesse ter uma visão espacial dos dados, inicialmente foram produzidos mapas temáticos considerando as variáveis individualmente e, ato contínuo, construiu-se os mapas temáticos com as variáveis, agora sim agregadas em zonas de tráfego. O primeiro passo foi a criação de um mapa temático abordando o número de pessoas por família, como apresentado pela Figura 8.13. Todos os mapas temáticos apresentados nesta seção foram construídos com o auxílio do *software* TransCAD. Embora a figura não mostre uma clara tendência espacial quanto à localização das famílias de acordo com o seu tamanho, pôde-se perceber que a maior parte das famílias mais numerosas estão localizadas na periferia. Nessa região existe a maior concentração de famílias compostas por mais de 5 pessoas; muitas delas chegam a ter mais de 10 membros.



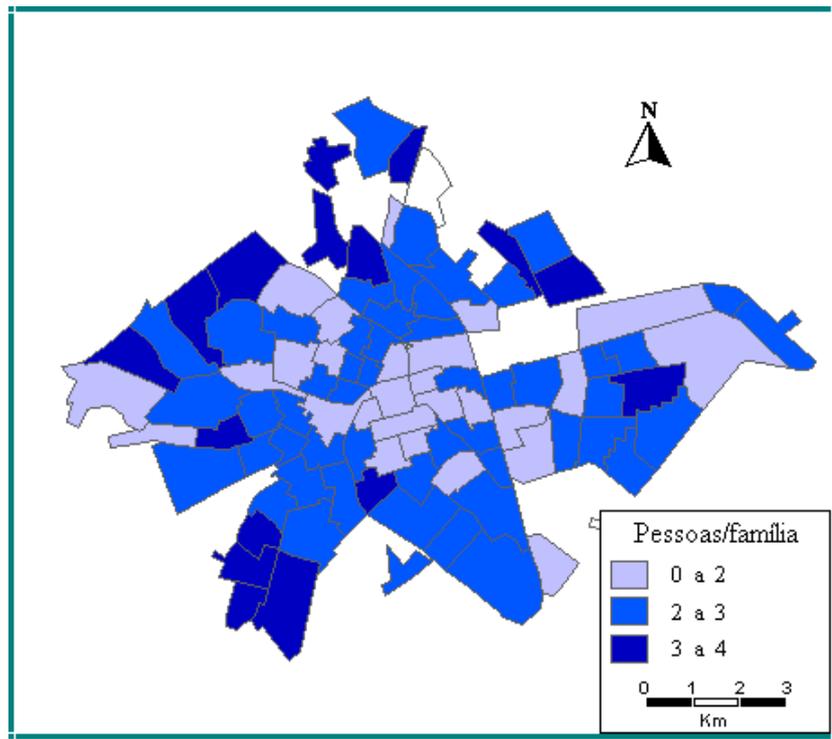
**Figura 8.13 – Localização espacial das famílias de acordo com o seu tamanho**

Em seqüência produziu-se o mapa temático mostrando a renda familiar individual. Existe, neste caso, uma tendência melhor definida, ou seja uma maior concentração de renda nas zonas centrais e naquelas localizadas na porção sul da cidade. A região noroeste da cidade é a que concentra um maior número de pessoas com rendas mais baixas. No entanto, pode-se constatar a presença de famílias com rendas superior a R\$2,4 mil, ainda que de forma esporádica, em outras regiões. A Figura 8.14 traz o mapa temático de rendas por família, individualmente.



**Figura 8.14 – Renda familiar individual**

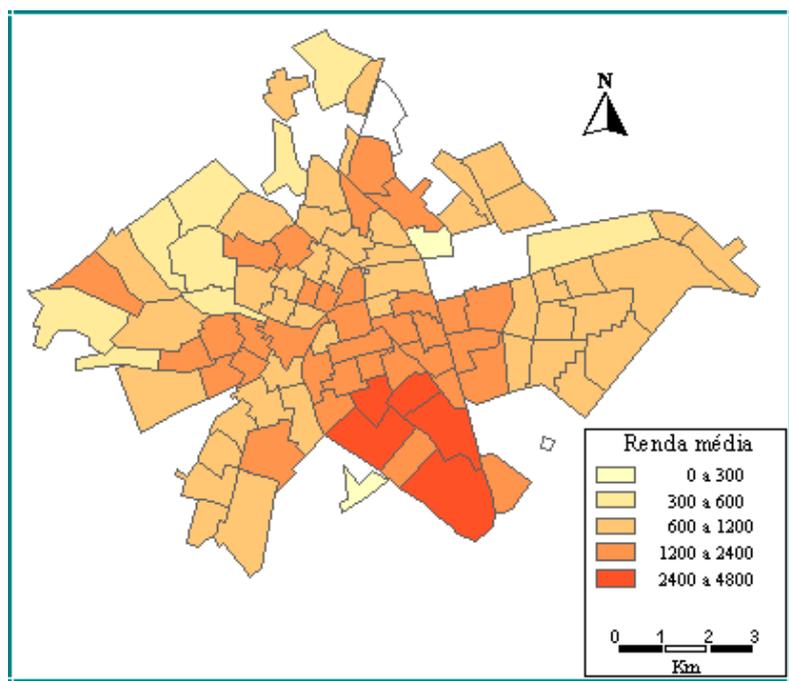
O mapa temático com as acessibilidades individuais, ou seja, associadas à localização dos domicílios, já havia sido apresentado anteriormente (ver Figura 8.11). O segundo passo foi a agregação dos dados tamanho de família, renda familiar e acessibilidade por zonas de tráfego, possibilitando a construção dos mapas temáticos dos valores médios por zona. A Figura 8.15 apresenta o mapa temático com os dados de tamanho de família agregados, onde pode-se constatar a presença de zonas de tráfego com família mais numerosas na região periférica da cidade, principalmente nas regiões noroeste e sudoeste da cidade, com média acima de 3 pessoas. Por outro lado, nas regiões centrais prevalecem famílias com até 2 pessoas, embora também essa média possa ser encontrada em algumas regiões periféricas, como por exemplo na regiões oeste e leste.



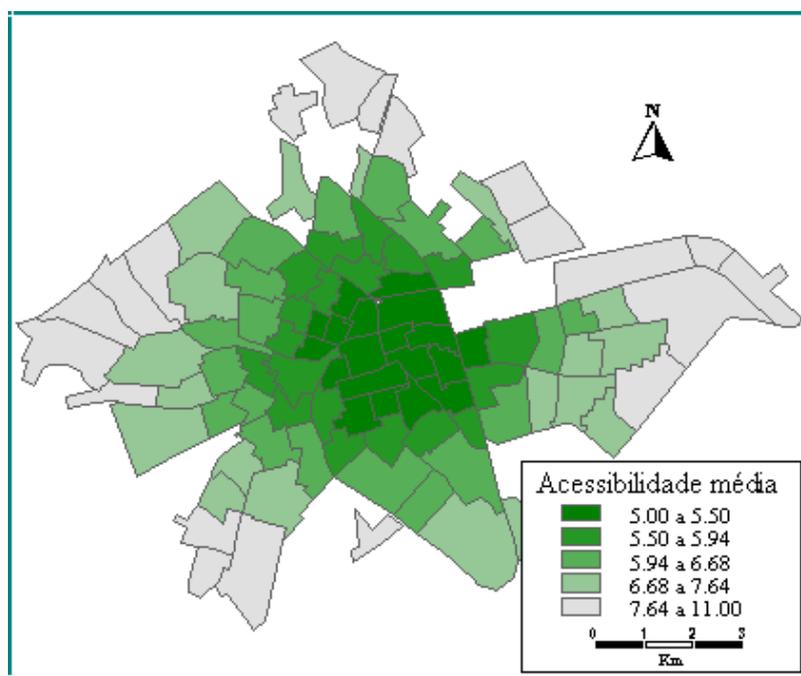
**Figura 8.15 – Tamanho médio de família por zona**

Foram visualizadas 2 zonas com média de renda abaixo de R\$300, uma na parte sul e outra na região nordeste da cidade. A região sul acolhe as 5 zonas com renda média familiar entre R\$2,4 mil a R\$4,8 mil. A região central têm maior concentração de zonas com renda média entre R\$1,2 mil a R\$2,4 mil. As zonas com renda média entre R\$300 e R\$600 estão preponderantemente localizadas nas regiões norte e noroeste.

O mapa temático com a acessibilidade média por zona de tráfego ficou bastante semelhante a aquele produzido com valores desagregados (ver Figura 8.11). A região central é a que tem melhor acessibilidade média, que vai diminuindo à medida que se desloca do centro para a periferia. Menor valor absoluto de acessibilidade significa menor distância média de um ponto em relação a todos os demais.



**Figura 8.16 – Renda média familiar por zona**



**Figura 8.17 – Acessibilidade média por zona**

A última etapa constou em efetivamente aplicar o modelo de potencial de viagens, agora com os dados agregados em zonas (como se poderia fazer inclusive

com os dados do próprio censo demográfico). Antes porém, convém examinar os padrões de viagens reais. A Figura 8.18 mostra o mapa temático de viagens reais por família por zona de tráfego, que não apresenta um padrão definido de viagens realizadas. Existem zonas centrais com poucas viagens realizadas, assim como na periferia.

Pode-se observar, comparando os mapas temáticos das Figuras 8.16 e 8.18, que as 5 zonas localizadas na região sul da cidade com maior padrão médio de renda estão compreendidas entre as zonas que maior número de viagens realiza, sugerindo claramente uma relação direta entre renda e realização de viagens. Embora localizadas em uma região com uma acessibilidade média (segundo a medida de separação espacial), o uso provável do automóvel confere às famílias uma alta capacidade de deslocamento. Por outro lado, as 2 zonas com menor renda média, localizadas uma na região centro-nordeste e outra, na região sul, estão também entre as zonas que menor número de viagens realiza. Dessas duas zonas, a que se localiza na região centro-nordeste tem uma acessibilidade originalmente considerada boa e a outra, um índice baixo; ainda assim o número de viagens realizadas é pequeno. Isto aponta para a importância de se levar em consideração não só aspectos relacionados à acessibilidade física, mas igualmente aqueles que interferem na mobilidade das pessoas.

O modelo de potencial de viagens foi aplicado, finalmente, com os dados agregados por zona e os resultados estão apresentados no mapa temático da Figura 8.19. Os mapas de viagens realizadas e o de potencial de viagens apresentaram, em princípio, uma certa semelhança. Para que isto pudesse ser avaliado com mais segurança, comparou-se o do número de viagens realizadas (reais) com o número potencial de viagens, cujos resultados foram utilizados na construção do mapa temático da Figura 8.20.

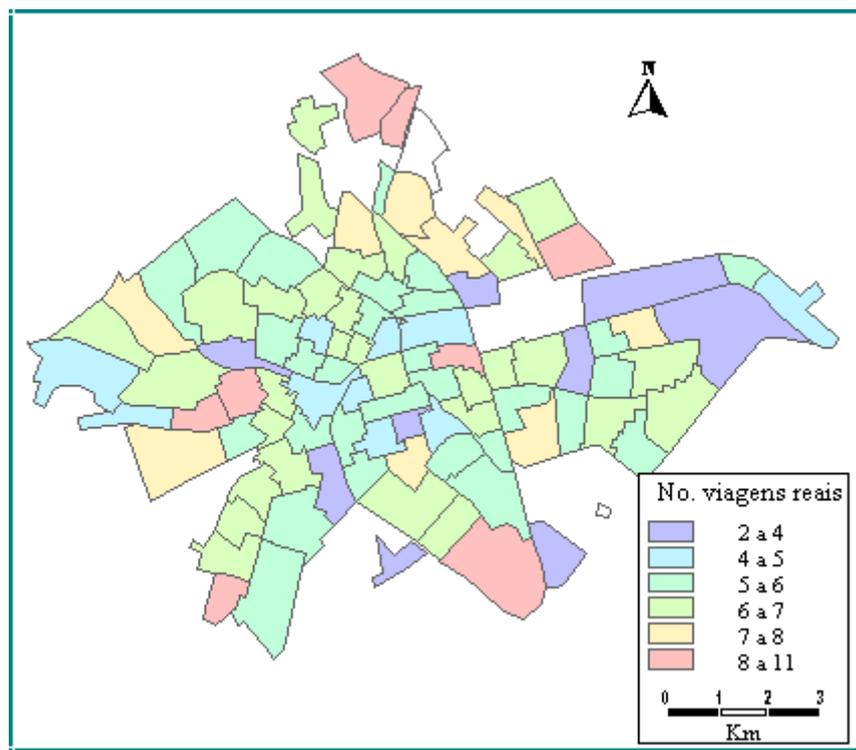


Figura 8.18 – Número de viagens reais por zona

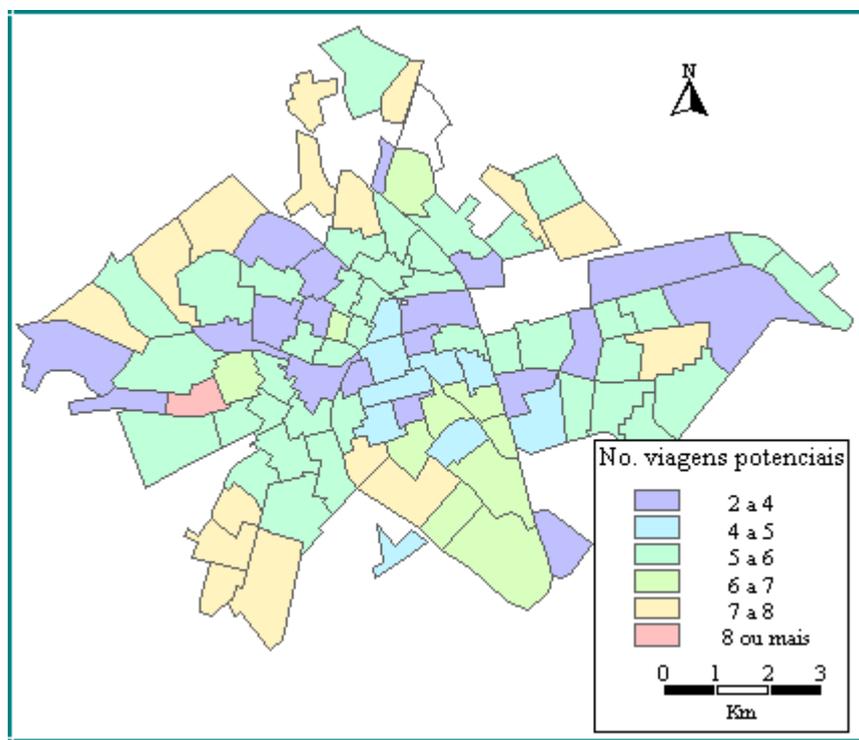
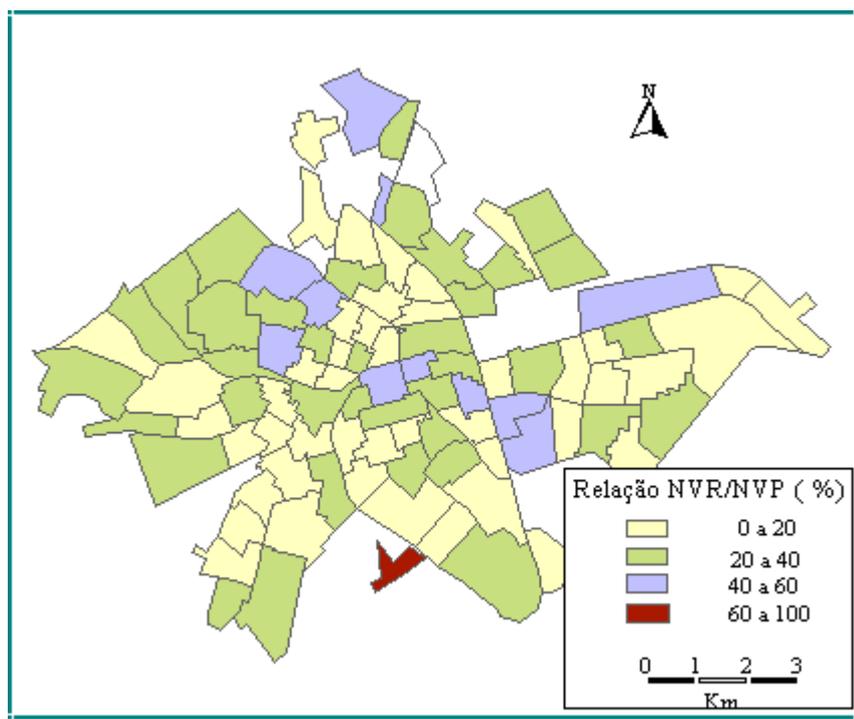


Figura 8.19 – Número de viagens potenciais por zona

O modelo de potencial de viagens apresentou um desempenho aceitável, quando comparados seus resultados com a realidade. As variações de resultados entre viagens reais e potenciais ficaram entre 0 e 20% para uma quantidade muito grande de zonas. Entre 20% e 40% para uma parcela também grande. Apenas uma zona, localizada na região sul apresentou uma variação excessivamente grande. No entanto, esta zona é uma região ainda pouco habitada, o que pode ter provocado uma distorção nos resultados.

A avaliação do desempenho do novo modelo pode ser feita verificando a correlação que guardam seus resultados com os dados de viagens reais e comparando-a com a correlação existente entre os valores da medida de acessibilidade convencional e os dados de viagens reais. No primeiro caso, encontrou-se um coeficiente de correlação igual a 0,60 e, no segundo, igual a 0,21. Isto demonstra a superioridade apresentada pelo modelo de potencial de viagens, aqui proposto, em relação à medida convencional de acessibilidade, quando usada isoladamente para fins de estimativa do potencial de deslocamento urbano.



**Figura 8.20 – Relação entre viagens reais e potenciais**

De uma maneira geral, em nível de planejamento estratégico de uma cidade, a metodologia parece ser um avanço em relação aos modelos de acessibilidade convencionais e uma ferramenta útil para os tomadores de decisão em planejamento urbano e de transportes. A metodologia deixa evidente que não basta apenas prover a população de acessibilidade física, mas é preciso propiciar a ela meios que possam garantir-lhe melhores índices de mobilidade.

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo teve como objetivo geral a proposição de modelos destinados à estimativa de potenciais de viagens urbanas, integrando, de um lado, aspectos que envolvessem o conceito de acessibilidade e, de outro, aspectos relacionados à mobilidade, fazendo uso de uma relativamente nova, porém já consolidada técnica de Inteligência Artificial, as Redes Neurais Artificiais.

Os conceitos de acessibilidade e mobilidade têm sido fartamente encontrados na literatura especializada, sob as mais diversas aplicações e abordagens, principalmente de forma isolada. A revisão bibliográfica realizada comprovou este fato. Embora alguns autores tenham comentado a respeito dos significados igualmente importantes e com característica de complementaridade mútua desses dois conceitos, poucos foram aqueles que, de alguma forma, procuraram associá-los em uma mesma modelagem.

Em geral, os modelos de transportes mais consagrados são elaborados em países desenvolvidos, onde a acessibilidade aos sistemas de transportes sofre pouca restrição e os aspectos relacionados à mobilidade, como por exemplo aqueles relacionados aos aspectos socioeconômicos da população, não apresentam óbices ao deslocamento urbano. Quando os modelos são desenvolvidos em países emergentes, caso do Brasil, as suas idéias estruturadoras, em geral, parecem não ser influenciadas pelas questões sociais, principalmente aquelas que evidenciam restrições motivadas pelos baixos salários ou mesmo a falta deles, devido a alta taxa de desemprego vigente no país. Dessa forma, o cenário urbano existente parece apontar uma dicotomia entre as ações dos planejadores urbanos e de transportes e as reais necessidades da população.

A contribuição precípua que este trabalho pretende protagonizar se assenta em dois vetores básicos: i) a abordagem inovadora na construção de um índice de

potencial de viagens para o planejamento estratégico urbano e de transportes, através da inclusão de variáveis de natureza espacial, associadas com fatores que caracterizam a mobilidade, usando modelos de Redes Neurais Artificiais, e ii) a investigação da relevância das variáveis envolvidas no modelo permite importantes desdobramentos em pesquisas futuras.

Um aspecto importante observado neste estudo, que já é conhecido principalmente no meio acadêmico, é a dificuldade na obtenção de dados a serem usados como fonte de informações, de maneira geral. “Por questões essencialmente financeiras, as cidade de menor porte não podem realizar pesquisas de deslocamentos de acordo com os procedimentos padrão” (CERTU, 2000). No entanto, elas precisam conhecer as formas de deslocamento e as expectativas da população em matéria de transporte. Este não é o caso, por exemplo, da Região Metropolitana de São Paulo, que realiza pesquisas de origem-destino decenais, através de Órgão de planejamento metropolitano do governo paulista.

Uma pesquisa realizada pelo Município de Bauru-SP, em 1997, foi usada neste trabalho, porém seus dados ainda permaneciam quase que sem nenhum tratamento desde então. Como pesquisas deste tipo em cidades médias brasileiras podem ser consideradas como sendo uma raridade, optou-se pela sua utilização para o desenvolvimento da metodologia e posterior aplicação no estudo de caso. Isto motivou o autor a despender grande quantidade de tempo para o tratamento, correção e consolidação dos dados.

Os dados obtidos por esta pesquisa origem-destino, no entanto, aparentemente deixaram transparecer a ausência de um tratamento mais cuidadoso nos processos de planejamento e execução. Isto acabou levando ao descarte de uma grande quantidade de dados durante o procedimento de verificação de inconsistência e correção dos dados. Prova disso foi a grande quantidade de dados de famílias descartada da amostra pela inconsistência na declaração da renda, ou seja, pessoas que viajaram por motivo de trabalho, com profissão definida, sem no entanto terem renda percebida declarada. Ainda assim, a quantidade remanescente de dados justificou plenamente a sua utilização.

Alguns dados relacionados aos aspectos socioeconômicos dos entrevistados, embora normalmente recomendados pela literatura para fazerem parte do questionário, não foram incluídos, como por exemplo a posse de imóveis e veículos. Estes dados poderiam auxiliar na validação dos dados de renda percebida.

A associação de dados espaciais ao modelo de potencial de viagens exigiu que um trabalho exaustivo fosse empreendido na digitalização dos arquivos digitais de eixos de vias, quadras, localização de domicílios, atributos da rede, tais como o nome das vias e numeração de quadras.

A localização espacial das origens e destinos feita com os recursos da ferramenta *address matching* do SIG não obteve êxito em cerca de 20% dos casos, mesmo dispondo de um processo que permite a interação com o operador para ajuste dos endereços que apresentaram problemas de localização. Isto levou a um trabalho complementar, no qual a localização espacial de 4 mil domicílios foi feita de forma manual, uma a uma, garantindo então um índice de localização de cerca de 99% dos casos.

Os problemas de localização automática de endereços ocorrem em conseqüência, por exemplo, de segmentos de vias ausentes da base georreferenciada, de endereços incompletos e de nomes de vias relacionados incorretamente (DRUMMOND, 1995). Outro problema encontrado na localização de endereços foi a mudança na denominação das vias, principalmente naquelas situadas em loteamentos mais recentes, que na época da incorporação recebem denominações provisórias (por ex. Rua A, Rua 1 etc.), sendo posteriormente alteradas.

A associação dos dados espaciais das origens com os dados do destino, para posterior incorporação em meio digital foi feita usando diversos recursos de *software*, tais como planilha eletrônica, editores de texto, além de recursos tratamento de banco de dados do SIG, exigindo um conhecimento no mínimo razoável sobre os mesmos.

A etapa de cálculo das distâncias percorridas nas viagens realizadas, feito pelo SIG, pode incorporar um viés, ou seja, o *software* utiliza um algoritmo de

caminho mínimo que na prática pode não coincidir com o comportamento adotado pelo viajante. Nem sempre o caminho de menor distância é o mais rápido ou mesmo o mais adequado.

O índice de acessibilidade adotado (utilizado também por ALLEN *et al.*, 1993), reflete tão somente a influência física da rede. Seria talvez mais adequado que se adotasse uma medida mais realista e sensível a outros fatores, como aquela descrita em DAVIDSON (1995), que reflete não só as alterações relacionadas à rede como também aquelas associadas ao uso do solo. Nesta aplicação, até que seria possível a adoção de uma medida do tipo gravitacional (como a citada em DAVIDSON, 1995), porém os únicos dados que se dispunha para a inclusão da atratividade das zonas da cidade no modelo eram os da própria pesquisa O-D (população, densidade populacional, viagens atraídas etc.), o que conduziria a um raciocínio circular.

O uso das ferramentas de um Sistema de Informações Geográficas foi de fundamental importância em quase todas as etapas desenvolvidas neste estudo, pois permitiram manusear, atualizar, alterar, ou acrescentar outras informações, ou ainda trabalhar com parte dos dados com rapidez e a flexibilidade. O SIG realizou o armazenamento e processamento dessas informações, além de permitir uma representação espacial, por exemplo, dos resultados alcançados pela aplicação do modelo potencial de viagens. Demonstrou um bom desempenho e facilidade na edição e visualização gráfica, o que pode tornar o processo de tomada de decisão muito mais transparente e rápido.

A técnica de Redes Neurais Artificiais, mesmo sendo razoavelmente conhecida em diversos ramos de atividades, somente nesta última década tem sido utilizada com mais frequência na Engenharia de Transportes e parece ser adequada para este tipo de aplicação. Em alguns aspectos, consideram alguns autores, ela tem mostrado um desempenho superior quando comparada com tradicionais técnicas de regressão, principalmente pela sua capacidade de capturar a não linearidade por detrás dos dados.

O uso do *software* simulador de Redes Neurais Artificiais utilizado, o *EasyNN*, versão 4.5, é de fácil manuseio, requerendo maiores cuidados somente no tratamento dos dados de entrada, e dispondo de interface amigável com o operador.

Dos resultados (erros médios e valores de  $R^2$ ) obtidos pelos dois grandes grupos de modelos preliminares - número de viagens realizadas e distância total viajada -, o primeiro foi aquele que apresentou melhor desempenho e, dentre os seus conjuntos relacionados ao modo de transporte utilizado, o número total de viagens considerando todos os modos se destacou.

Aparentemente, as variáveis excluídas devido ao seu fraco desempenho, ou seja aquelas associadas ao grau de instrução e posse de CNH, foram pouco explicativas e, devido à sua grande variabilidade de relevância entre todos os modelos preliminares, parece não terem contribuído para o aprendizado dos modelos, de modo geral. A exclusão dessas variáveis na composição do modelo de potencial de viagens por todos os modos não chegou a alterar significativamente o desempenho deste modelo, mantendo seus resultados nos mesmos patamares que o modelo completo. Por restrição de tempo, este processo de “enxugamento” dos modelos se restringiu somente ao conjunto de dados número total de viagens realizadas por todos os modos. Melhor seria repetir este experimento para os demais modos aqui considerados. No entanto, uma conclusão importante pode ser apresentada: com a adoção de modelos simplificados (com relativamente poucas variáveis) de performance comparável a modelos mais complexos (com muitas variáveis), torna-se possível utilizar o modelo com fontes de dados mais simples e acessíveis, como por exemplo, os dados do Censo do IBGE.

A adoção de segmentação de viagens por modo de transporte neste trabalho, pode não ter sido a melhor escolha para a construção dos modelos. Em virtude disto, recomenda-se que outros tipos de segmentação sejam pesquisadas, como por exemplo, o motivo da realização das viagens. Uma outra opção para posterior investigação seria uma forma diferente de agregação dos modos de viagem. Um exemplo disso poderia ser a agregação dos modos *auto/moto como motorista* e *auto/moto como passageiro* em um único modo, tal como adotado em CMSP (1998).

Outra possibilidade seria a separação das viagens a pé daquelas feitas com o uso de bicicleta.

Um dado disponível na pesquisa O-D de Bauru e que não foi utilizada na construção dos modelos foi a idade das pessoas que, como foi aqui apresentado, possuem distintas taxas de mobilidade de acordo com a faixa etária. Inicialmente, isto se deu ao fato de que os modelos preliminares já contavam com nove variáveis de entrada e a introdução de mais quatro ou cinco novas variáveis poderia dificultar sobremaneira o aprendizado dos modelos. Posteriormente, a substituição das variáveis com fraco desempenho por essas, para uma nova rodada de experimentação dos modelos preliminares, poderia ser feita, no entanto a restrição de tempo impediu este procedimento.

A utilização de Redes Neurais Artificiais, por sua vez, produziu subsídios para se conhecer a relevância das variáveis de entrada adotadas, através de posterior uso de um método proposto por Garson. A importância das variáveis associadas à acessibilidade e mobilidade usadas conjuntamente foi aqui confirmada, principalmente as do segundo grupo. A variável relativa à mobilidade utilizada no modelo potencial de viagens apresentou uma relevância média superior à apresentada pela variável acessibilidade, que em geral é empregada na modelagem de planejamento com maior ênfase. Isto confirma a tese de que os aspectos de acessibilidade e mobilidade devem ser consideradas conjuntamente nas abordagens de planejamento de transportes.

O modelo de potencial de viagens ora desenvolvido apresentou um desempenho aceitável, quando comparados os seus resultados com a realidade. As variações de resultados entre viagens *reais* e *potenciais* ficaram entre 0 e 20% para uma grande quantidade de zonas. Entre 20% e 40% para outra parcela também significativa. Apenas em uma única zona essa relação apresentou uma variação excessivamente grande. No entanto, a pouca ocupação desta zona poderia ser a explicação da distorção no resultado.

Além disso, a avaliação do desempenho do modelo de potencial de viagens proposto pôde ser feita também por meio da verificação entre a correlação que guardam seus resultados com os dados de viagens reais e comparando-a com a correlação existente entre os valores da medida de acessibilidade convencional e os dados de viagens reais. No primeiro caso, obteve-se um *coeficiente de correlação* ( $r$ ) igual a 0,60 e, no segundo, igual a 0,21. Isto demonstra a superioridade apresentada pelo modelo de potencial de viagens, aqui proposto, em relação à medida convencional de acessibilidade, quando usada isoladamente para fins de estimativa do potencial de deslocamento urbano.

Considerando o nível de planejamento estratégico de uma cidade, em geral, a metodologia aqui apregoada demonstrou ser um avanço em relação aos modelos de acessibilidade convencionais e uma ferramenta útil para os tomadores de decisão em planejamento urbano e de transportes. A metodologia deixa evidente que não basta apenas prover a população de acessibilidade física, mas é preciso propiciar a ela meios que possam garantir-lhe melhores índices de mobilidade.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- ABANDO, L.L.; ORTIZ, A.G. (1996). La utilidad de los estudios de impacto territorial: el caso de Plan de Carreteras de la Comunidad Autónoma del País Vasco. *Revista Accesibilidad y Territorio*, v.I, p.78-87.
- ABEBE, Y.; HOLDSTOCK, D. (1993). Applicability of GIS technology for transport planning and development in developing countries: a case study for sub-sahara Africa. In: ANNUAL MEETING OF THE INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS, The Hague, The Netherlands. *Compendium of Technical Papers*. Washington, D.C., ITE. p. 342-6.
- ABSULHAI, B.; RITCHIE, S.G. (1999). Enhancing the universality and transferability of freeway incident detection using a Bayesian-based neural networks. *Transportation Research, Part C*, n.7. p.261-280.
- AKINYEMI, E.O. (1998a). Understanding urban mobility and accessibility for transportation engineering purposes. Paper presented at WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8., Antwerp, Belgium. 21p.
- AKINYEMI, E.O. (1998b). Engineering and urban mobility enhancement in developing countries. In: FREEMAN, P. & JAMET, C. eds. (1998). *Urban transport policy: a sustainable development tool*. Rotterdam, The Netherlands, A.A. Alkema. p.715-720.
- AKINYEMI, E.O.; ZUIDGEEST, M. (1998). The use of the sustainability concept in transportation engineering: past experiences and future challenges. Paper presented at WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8., Antwerp, Belgium.
- ALLEN, W.B.; LIU, D.; SINGER, S. (1993). Accessibility measures of U.S. Metropolitan Areas. *Transportation Research, Part B*, v.27B, n.6, p.439-449.
- ANFAVEA-ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (1999). *Anuário estatístico da indústria automobilística brasileira*. São Paulo.
- ANGELL, C.D. (1989). Mobility futures: an overview. *Transportation Quarterly*, v.43, n.4, p.549-555.
- ANTENUCCI, J.C.; BROWN, K.; CROSWELL, P.L.; KEVANY, M.J.; ARCHER, H. (1991). *Geographic Information Systems: a guide to technology*. New York, Chapman & Hall.

- ANTP-ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (1985). *Conclusões gerais do 5º Congresso Nacional de Transporte Públicos: recomendações das comissões técnicas*. Belo Horizonte, ANTP.
- ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. Comissão de Circulação e Urbanismo (1989). Não-transporte, a reconquista do espaço e do tempo social. *Revista dos Transportes Públicos*, n.44, p.9-25.
- ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (1997). *Transporte humano: cidades com qualidade de vida*. São Paulo, ANTP.
- ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (1999). *Circulação com qualidade na cidade do século XXI*. São Paulo, ANTP.
- ANTP-ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (2000). *O transporte na cidade do século 21: documento básico do 12º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*. Recife. [http://www.antp.org.br/telas/congresso\\_transito\\_transporte1.html](http://www.antp.org.br/telas/congresso_transito_transporte1.html). (19 Jan.)
- ARRUDA, J.B.F. (1997). Determinação do impacto de projetos de transportes na acessibilidade do trabalhador às principais zonas de empregos urbanos. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 11, 1997. *Anais*. Rio de Janeiro, ANPET. v.II, p.975-984.
- ARRUDA, J.B.F. (1999). Determinação do impacto de projetos de transportes na acessibilidade do trabalhador às principais zonas de emprego urbano. In: CNT/ANPET, orgs. *Transporte em Transformação II*. São Paulo, Makron Books. p.141-154.
- AUSTIN, K.; EVANS, R.; FOX, H. (1996). The woolwich rail tunnel: a GIS based assesment of socio-economic impacts. In: EUROPEAN TRANSPORT FORUM, 24. Proceedings. Seminar J Geographic Information System.
- BARTOLOME, R.I.; CACERES, A.M. (1992). La accesibilidad a las redes de transporte como instrumento de evaluacion de cohesion economica y social. *Transporte y Comunicaciones*, n.56, p.33-56.
- BAURU (2000). Prefeitura Municipal de Bauru. <http://www.bauru.sp.gov.br/> (03 Fev.).
- BEALE, R.; JACKSON, T. (1990). *Nueral Computing: na introduction*. Institute of Physics Publishing.
- BELTRÁN, F.N. (1996). Velocidad contra accesibilidad. *Revista Accesibilidad y Territorio*, v.II, p.8-19.
- BEN-AKIVA, M.; LERMAN, S.R. (1979). Disaggregate travel and mobility-choice models and measuring of accessibility. In: HENSHER, D.A; STOPHER, P.R., eds. *Behavioural travel modelling*. London, Croom Helm. p.654-679.
- BENEVOLO, F. (1998). A Laboratory for the study of urban density. Paper presented at WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8., Antwerp, Belgium.

- BLACK, A. (1995). *Urban mass transportation planning*. Singapore, McGraw-Hill.
- BLACK, J.; CONROY, M. (1977). Accessibility measures and the social evaluation of urban structure. *Environment and Planning A*, n.9, p.1013-1031.
- BONVALET, C.; CARPENTER, J.; WHITE, P. (1995). The residential mobility of ethnic minorities: a longitudinal analysis. *Urban Studies*, v.32, n.1, p.87-103.
- BOTELHO, F.V.U; FORTES, J.A.A.S. (1994). Reflexões sobre as estratégias de mobilidade das famílias de baixa renda. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 8. 1994. *Anais*. Recife, ANPET. v.II, p.415-420.
- BOTELHO, F.V.U; FORTES, J.A.A.S. (1996). A influência dos fatores renda do usuário e o tempo de deslocamento na escolha do modo a pé de transporte. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 10. 1996. *Anais*. Brasília, ANPET. v.II, p.853-863.
- BRAVO, F.; CERDA, J. (1995). Tecnologia SIG aplicada a sistemas de transporte. In: CONGRESO CHILENO DE INGENIERIA DE TRANSPORTE, 7, Santiago. *Actas*. p.547-62.
- BRONDINO, N.C.M. (1999). *Estudo da influência da acessibilidade na valorização de lotes urbanos através do uso de redes neurais*. São Carlos. 141p. Tese (Doutorado) - EESC. Universidade de São Paulo.
- BRONDINO, N.C.M.; SILVA, A.N.R. (1999). Micro-simulation model for service employment location using ANN. In: RIZZI, P. (Ed.). *Proceedings Of 6<sup>th</sup> The International Conference Computers In Urban Planning And Urban Management*, FrancoAngeli, Venice, Italy.
- BOUGROMENKO, V.N. (1998). Transport indices for spatial development and social sustainability. Paper presented at WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8., Antwerp, Belgium. 14p.
- BRAGA, A.P.; CARVALHO, A.P.L.F.; LUDERMIR, T.B. (1999). *Redes Neurais Artificiais: teorias e aplicações*. EESC/USP. São Carlos.
- BRUTON, M.J. (1979). *Introdução ao planejamento dos transportes*. Trad. por João B.F. Arruda et al. Rio de Janeiro, Interciência/São Paulo, EDUSP.
- CALVET, F.J.V. (1970). *Transportes Urbanos*. Dossat. Madrid
- CALVET, M.T. (1996). La accesibilidad, criterio básico para el desarrollo de un sistema de transportes eficaz, sostenible y cohesivo. *Revista Accesibilidad y Territorio*, v.1, p.18-27.
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. (1996). *Anatomia de sistemas de Informações Geográficas*. Campinas, Unicamp.

- CARRUTHERS, D.; LAWSON, G. (1995). The contribution of transport to the quality of life. In: BLESSINGTON, H.K., ed. *Urban Transport*. London, Thomas Telford. p.11-20.
- CARVALHO, M.C.M. (1999). Previsão de demanda de transportes: uma abordagem não-linear usando Redes Neurais. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 13. 1999. *Anais*. São Carlos, ANPET. v.1, p.187-200.
- CASTEJÓN, V.T. (1996). Planes de carreteras: ¿Respuesta (a) o fomento (de) la movilidad? *Revista Accesibilidad y Territorio*, v.1, p.40-47.
- CERTU (2000). Encuestas de movilidad para ciudades medias. *Boletín de los Transportes Públicos de la América Latina*. n.31. p.4.
- CERVERO, R. (1988). Land-use mixing and suburban mobility. *Transportation Quarterly*, v.42, n.3, p.429-446.
- CHANG, G.L.; SU, C.C. (1995). Predicting intersection queue with neural network models. *Transportation Research, Part C*, v.5, n.5. p.259-271.
- CHAPLEAU, R. (1998). Free-wheeling urban mobility: a question of densities, motorization, employment and transit decline. Paper presented at WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8., Antwerpen, Belgium. 18p.
- CHEU, R.L.; RITCHIE, S.G. (1995). Automated detection of lane-blocking freeway incidents using artificial neural networks. *Transportation Research, Part C*, v.3, n.6. p.371-388.
- CLARK, W.A.V.; ONAKA, J.L. (1983). Life cycle and housing adjustment as explanations of residential mobility. *Urban Studies*, n.20, p.47-57.
- CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO (1990) *Pesquisa origem e destino 1987: região metropolitana de São Paulo*. São Paulo, CMSP.
- CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO (1998) *Pesquisa origem-destino 1997: região metropolitana de São Paulo*. Síntese de Informações. São Paulo, CMSP.
- CMSP - COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO (1999) *Pesquisa origem-destino 1967-1977-1987-1997*. Demonstrativo. São Paulo, CMSP. CD ROM.
- CNT - CENTER for NEIGHBORHOOD TECHNOLOGY (1998). *Accessibility vs. mobility: the location efficient mortgage*. <http://www.cnt.org/lem/apa.htm>. (23 Dec.).
- CNT-CENTER for NEIGHBORHOOD TECHNOLOGY (1999). *The Citizen Transportation Plan for Northeastern Illinois*. <http://www.cnt.org/2020/plan2.htm>. (05 Jan.).

- COOK, L.; POWER, S. (1995). Measuring the value of public transport provision using GIS. In: EUROPEAN TRANSPORT FORUM, 23. Proceedings. Seminar N Geographic Information System. p.45-59.
- COSTA, A.; MARKELLOS, R.N. (1997). Evaluation public transport efficiency with neural networks models. *Transportation Research, Part C*, v.5, n.5. p.301-312.
- COUTINHO NETO, B. (2000). *Redes Neurais Artificiais como procedimento para retroanálise de pavimentos flexíveis*. São Carlos. 119p. Dissertação (Mestrado) – EESC. Universidade de São Paulo.
- COUTINHO NETO, B.; RODGHER, S.F.; FABRI, G.T. (1999). Retroanálise de pavimentos flexíveis através de redes neurais artificiais. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, XIII. 1999. *Anais*. São Carlos, ANPET. v.1, p.509-519.
- CTAQC-CHICAGOLAND TRANSPORTATION and AIR QUALITY COMMISSION (1999). The Citizen Transportation Plan for Northeastern Illinois. *The \$650 Billion Decision*. (abridged version). <http://www.cnt.org/2020/plan2.htm> (5 Jan.).
- DALVI, M.Q. (1979). Behavioural modelling, accessibility, mobility and need: concepts and measurement. In: HENSHER, D.A.; STOPHER, P.R., eds. *Behavioural travel modelling*. Croom Helm, Becknham, Kent. p.639-653.
- DALVI, M.Q.; MARTIN, K.M. (1976). The measurement of accessibility some preliminary results. *Transportation*, v.5, n.1, p.17-42.
- DAVIDSON, K.B. (1977). Accessibility in transport/land-use modelling and assessment. *Environment and Planning A*, v.9, n.12, p.1401-1416.
- DAVIDSON, K.B. (1995). *Accessibility and isolation in transportation network evaluation*. Paper presented at 7<sup>th</sup> WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH. The University of New South Wales, Sydney, Australia.
- DELGADO, J.P.M. (1995). Mobilidade urbana, rede de transporte e segregação. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 9. 1995. *Anais*. São Carlos, ANPET. v.1, p.284-293.
- DIA, H.; ROSE, G. (1997). Development and evaluation of neural networks freeway incident detection models using field data. *Transportation Research, Part C*, v.5, n.5. p.313-331.
- DIAZ OLVERA, L.; PLAT, D.; POCHET, P. (1996). Movilidades urbanas de los pobres en Africa Occidental. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 10. 1996. *Anais*. Brasília, ANPET. v.1, p.73-83.
- DIAZ OLVERA, L.; PLAT, D.; POCHET, P. (1998). Les multiples visages de la mobilité dans les villes d’Afrique Subsaharienne. In: FREEMAN, P. & JAMET, C., eds. *Urban transport policy: a sustainable development tool*. Rotterdam, The Netherlands, A.A. Alkema. p.663-668.

- DOMANSKI, R. (1979). Accessibility, efficiency, and spatial organization. *Environment and Planning A*, v.11, p.1189-1209.
- DOUGHERTY (1995). A review of neural networks applied to transport. *Transportation Research, Part C*, v.3, n.4. p.247-260.
- DRAIBE, S.M. (1993). A natureza social de investimentos em transporte de massa: o exemplo da Região Metropolitana de São Paulo. *Revista dos Transportes Público*, n.61, p.37-58.
- DRUMMOND, W.J. (1995). Address matching: GIS technology for mapping human activity patterns. *Journal of the American Planning Association*. v.61, n.2. p.240-251.
- EDWARDS, M. (1983). Residential mobility in a changing housing market: the case of Bucaramanga, Colombia. *Urban Studies*, n.20, p.131-145.
- EWING, R.; DeANNA, M.; LI S-C. (1996). Land use impacts on trip generation rates. *Transportation Research Record*. Transportation Research Board, n.1518, p.1-6.
- FALAS, T. (1995). Neural Networks in Empirical Accounting Research: An Alternative to Statistical Models. *Neural Network World*, v. 5, n. 4. p. 419-432.
- FERRAZ, A.C.P. (1998). Qualidade do transporte público urbano. In: FERRAZ, A.C.P. (1998). *Escritos sobre transporte, trânsito e urbanismo*. EESC/USP. Ribeirão Preto, São Francisco. p.118-127.
- FERRAZ, A.C.P. (1999). *Transporte Público Urbano*. EESC/USP/Editora Multicópias. Ribeirão Preto, São Francisco.
- FERRAZ, J.C.F. (1991). O automóvel: herói e vilão. In: FERRAZ, J.C.F. *Urbs Nostra*. São Paulo, EDUSP/PINI. p.133-138.
- FERRANDIZ, J.V.C. (1990). Movilidad y ambiente en ciudades de tipo medio: un nuevo enfoque del problema. *Revista del Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones*, n.46. p.9-18.
- FIELDING, G.J. (1995). Transit in American cities. In: HANSON, S., ed. *The geography of urban transportation*. New York/London, The Guilford Press. p.287-304.
- FORNECK, M.L. (1998). Qualidade de vida e mobilidade das mulheres em grandes centros urbanos. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE TRANSPORTE PUBLICO Y URBANO, 9., Guadalajara, Mexico, 1998. *Memorias*. Guadalajara, Mexico.
- FORNECK, M.L.; ZUCCOLOTTO, S. (1996). Mobilidade das mulheres na Região Metropolitana de São Paulo. *Revista dos Transportes Públicos*, n.73, p.95-103.
- FOSTER, C. (1976). The measurement of accessibility. *Transportation*, v.5, n.1, p.43-44.

- FURTADO, A.N.D. (1998). *Uma nova abordagem na avaliação de projetos de transportes: o uso de Redes Neurais Artificiais como técnica para avaliar e ordenar alternativas*. São Carlos. 249p. Tese (Doutorado). EESC/USP.
- FURTADO, A.N.D.; KAWAMOTO, E.; CARVALHO, A.P.L.F. (1987). Uma nova abordagem na avaliação de projetos de transportes: o uso de Redes Neurais Artificiais como técnica para avaliar e ordenar alternativas. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, XI. *Anais*. 1997. ANPET. Rio de Janeiro. v.I, p. 177-187.
- FWA, T.F.; CHAN, W.T. (1993). Priority rating of highway maintenance needs by Neural Networks. *Journal of Transportation Engineering*, v.199, n.3. p.419-432.
- GAKENHEIMER, R. (1999). Urban mobility in the developing world. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v.33, n.7-8. p.671-689.
- GALLUP-INSTITUTO GALLUP DE OPINIÃO PÚBLICA (1993). *Relatório de pesquisa sobre a aferição da mobilidade na Região Metropolitana de São Paulo*. STMS/CMSP/SETEPLA.
- GEERTMAN, S.C.M.; VAN ECK, J.R.R. (1995). GIS and models of accessibility potential: an application in planning. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.9, n.1, p.67-80.
- GIANOPOULOS, G.A.; BOULOUGARIS, G.A. (1989). Definition of accessibility for railway stations and its impact on railway passenger demand. *Transportation Planning and Technology*, v.13, n.2, p.111-120.
- GIULIANO, G. (1995). Land use impacts of transportation investments: highway and transit. In: HANSON, S., ed. *The geography of urban transportation*. New York/London, The Guilford Press. p.305-341.
- GODARD, X. (1998). Mobilité urbaine et pauvreté: l'expérience ouest-africaine. In: FREEMAN, P. & JAMET, C. eds. (1998). *Urban transport policy: a sustainable development tool*. Rotterdam, The Netherlands, A.A. Alkema. p.693-688.
- GUEDES, J.C. (1995). O emprego de Inteligência artificial na avaliação de bens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, VIII. *Anais*. Florianópolis, 1995. p.368-374.
- GUYTON, A.C. (1977). *Tratado de Fisiologia Médica*. 5ª Ed. Interamericana, Rio de Janeiro.
- GUTIÉRREZ, J.; MONZÓN, J.M.A. (1998). Accessibility, network efficiency, and transport infrastructure planning. *Environment and Planning A*, v.30, p.1337-1350.
- HAMBURG, J.R.; BLAIR, L.; ALBRIGHT, D. (1995). Mobility as a right. *Transportation Research Record*, n.1499, p.52-55.
- HAMILTON, D.; FORD, R. (1997). Analysis of road network accessibility. In: ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE. *Proceedings Archive*. <http://www>.
-

- esri.com/base/commom/userconf/proc97/PROC97/TO600/PAP560/P560.HTM.  
(23 Jul.).
- HANDY, S.L. (1993). Regional versus local accessibility: implications for nonwork travel. *Transportation Research Record*. Transportation Research Board. n.1400, p.58-66.
- HANDY, S.L.; NIEMEIER, D.A. (1997). Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives. *Environment and Planning A*, v.29, n.7, p.1175-1194.
- HANOCQ, P. (1998). Typologie del'occupation du sol et generation de mobilité. Paper presented at WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8., Antwerp, Belgium. 21p.
- HANSEN, W.G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, v.25, n.2. p.73-76.
- HANSON, S. (1995). Getting there: urban transportation in context. In: HANSON, S., ed. *The geography of urban transportation*. New York/London, The Guilford Press. p.3-25.
- HANSON, S.; SCHWAB, M. (1987). Accessibility and intraurban travel. *Environment and Planning Part A*, v.19, n.6, p.735-748.
- HARDCASTLE, D.; CLEEVE, I. (1995). Accessibility modeling using GIS. In: EUROPEAN TRANSPORT FORUM, 23. Proceedings. Seminar N Geographic Information System. p.27-35.
- HAYKIN, S. (1994). *Neural networks: a comprehensive foundation*. Macmillan College Publishing Company. p.1-88.
- HOGGART, K. (1973). *Transportation accessibility: some references concerning applications, definitions, importance and index construction*. Council of Planing Librarians. Exchange Bibliography, n.482.
- HOLM, T. (1997). *Using GIS in mobility and accessibility analysis*. In: ESRI USER CONFERENCE, 1997. Environmental Systems Research Institute. <http://www.esri.com/base/commom/proc97/PROC97/TO450/PAP440/P440.HTM>.
- HUXHOLD, W.E. (1991). *An introction to urban geographic information systems*. New York, Oxford University Press.
- INGRAM, D.R. (1971). The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*. v.5, n.2, p.101-107.
- IVAN, J.N. (1997). Neural network representations for arterial street incident detection data fusion. *Transportation Research, Part C*, v.5, n.3/4. p.245-254.
- JANUÁRIO, M.H. (1995). *Procedimento para determinação de índices de acessibilidade de transportes e tratamento cartográfico dos mesmos*. Rio de Janeiro. 266p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia.
- JANUÁRIO, M.H.; CAMPOS, V.B.G. (1996). Determinação de níveis de acessibilidade do transporte público. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE

- TRANSPORTE PUBLICO Y URBANO, VIII. *Anais*. Curitiba, 1996. ANTP. Disquetes.
- JC (1999). *Número de coletivos é maior que a demanda de usuários*. *Jornal da Cidade*. JC nos Bairros. p.1 (06 Jun.).
- JC (2000). *Imagens que contam um pouco mais da Cidade Sem Limites*. *Jornal da Cidade*. [http://www.jcnet.com.br/bauru\\_fotos.htm](http://www.jcnet.com.br/bauru_fotos.htm). (12 Jan.).
- JOAQUIM, F.M. (1999). *Qualidade de vida nas cidades: o aspecto de acessibilidade às atividades urbanas*. São Carlos. 130p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos.
- JOAQUIM, F.M. (1997). *Qualidade de vida nas cidades: aspecto da acessibilidade às atividades urbanas*. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS, 11. 1997. *Anais*. Belo Horizonte, ANTP. Disquete 2/4.
- JONES, S.R. (1981). *Accessibility measures: a literature review*. Transport and Road Research Laboratory. Department of the Environment. Department of Transport. Laboratory Report 967.
- KAFFUM, J.; TAYLOR, M. (1998). *Integration of Geographic Information Systems and models for transportation planning and analysis*. Paper presented at the 8<sup>th</sup> WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH, Antwerpen, Belgium. *Book of Abstracts*. Universeit Antwerpen, p.186.
- KAGAN, H.; ROSSETTO, C.F.; CUSTÓDIO, P.S.; MARTINS, W.C. (1992). *Uso de Sistemas de Informações Geográficas no Planejamento de Transportes*. In: CONGRESSO NACIONAL DA ANPET, 6, Rio de Janeiro. *Anais*. São Paulo, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. v. II, p. 894-909.
- KALSAAS, B.T.; AASE, E. (1997). *Modelling accessibility for public transport in an urban context*. In: SIKDAR, P.K. et al. eds. *Computers in urban planning and urban management*. v.1. Bombay, India, Narosa Publishing House. p.108-118.
- KHAN, S.I.; RITCHIE, S.G. (1998). *Statistical and neural classifiers to detect traffic operational problems on urban arterials*. *Transportation Research, Part C*, n.6. p.291-314.
- KEUREN, A.; SANDERS, F.M. (1998). *Integrated land-use and network modelling*. Paper presented at WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8., Antwerp, Belgium. 20p.
- KLIKSBERG, B. (1998). *A iniquidade na América Latina: um tema-chave para o desenvolvimento e o perfil ético da sociedade*. *Revista de Administração Pública*, v.32, n.4, p. 177-220.
- KOENIG, J.G. (1977). *Les indicateurs d'accessibilité dans les études urbaines: de la théorie à la pratique*. *Revue Générale des Routes et des Aerodromes*, n.533, p.5-23.
- KOENIG, J.G. (1980). *Indicators of urban accessibility: theory and application*. *Transportation*, v.9, n.2, p.145-172.

- KOLLARITS, S. (1998). *Exploring mobility data in a GIS context: problems of representation and framework for analysis*. <http://www.sgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatlab//egis/eg94020.html> (10 Aug.).
- KOSTER, J.H.; LANGEN, M. (1998). Preventive transport strategies for secondary cities. In: FREEMAN, P. & JAMET, C. eds. (1998). *Urban transport policy: a sustainable development tool*. Rotterdam, The Netherlands, A.A. Alkema. p.321-328.
- KOUSHKI, P.A. (1986). Mobility costs: households travel expenditures in Ryadh, Saudi Arabi. *Transportatio Quaterly*, v.40, n.4, p.571-578.
- KRALICH, S. (1996). La accesibilidad radial metropolitana como indicador de calidad de vida. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE TRANSPORTE PUBLICO Y URBANO, VIII. *Anais*. Curitiba, 1996. ANTP. Disquete.
- KWON, O.; GOLDEN, B.; WASIL, E. (1995). Estimating the length of the optimal TSP tour: an empirical study using regression and Neural Networks. *Computers & Operations Research*, v.22, n.10. p.1047-1056.
- LANE, R.; POWELL, T.J.; SMITH, P.P. (1993). *Planificacion Analítica del Transporte*. Instituto de Estudios de Administracion Local. Madrid.
- LEDoux, C. (1997). Na urban traffic flow model integrating neural networks. *Transportation Research, Part C*, v.5, n.5. p.287-300.
- LEE, M.S.; GOULIAS, K.G. (1997). Accessibility indicators for transportation planning using GIS. Paper presented at the 76<sup>th</sup> ANNUAL TRANSPORTATION RESEARCH BOARD MEETING. Paper n.970160.
- LEVINE, J. (1998). Rethinking accessibility and jobs-housing balance. *Journal of American Planning Association*, v.64, n.2, p.133-149.
- LIMA, E. (1999). Bauru ganha dez mil carros novos por ano. Caderno JC nos Bairros. *Jornal da Cidade*, p.2 (18 Abr.).
- LIMA, R.S.; SILVA, A.N.R.; FAGUNDES, R.W. (1998). Acessibilidade e evolução urbana em cidades médias brasileiras. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 12. 1998. *Anais*. Fortaleza, ANPET. v.I, p.3-13.
- LINDEMANN, F.; CAMPOS, V.B.G.; GONÇALVES, A.F.M. (1998). Método de avaliação da acessibilidade viária e sua relação com o uso do solo. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 12. 1998. *Anais*. ANPET. Fortaleza. v.I, p.457-468.
- LINNEKER, B.J.; SPENCE, N.A. (1992). Accessibility measures compared in an analysis of the impact of the M25 London orbital motorway on Britain. *Environment and Planning A*, v.24, n.8, p.1137-1154.
- LLORÉNS, J.O. (1996). Accesibilidad contra territorio. *Revista Accesibilidad y Territorio*, v.II, p.4-7.

- LOVE, Douglas; LINDQUIST, Peter (1995). The geographical accessibility of hospitals to the aged: a Geographic Information Systems analysis within Illinois. *Health Services Research*, v.29, n.5, p.629-652.
- LU, M. (1998). Analysing migration decisionmaking: relationships between residential satisfaction, mobility intentions, and moving. *Environment and Planning, Part A*, v.30, p.1473-1495.
- LUGER, G.F.; STUBBLEFIELD, W.A. (1989). *Artificial Intelligence and Design of Experts Systems*. The Benjamin/Cummings Publishing Company. p. 581-584.
- MACKIEWICZ, A.; RATAJCZAK, W. (1996). Towards a new definition of topological accessibility. *Transportation Research, Part B*, v.30, n.1, p.47-79.
- MAGALHÃES, D.J.A.V (1998). Mobilidade residencial e sistema de transportes na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE TRANSPORTE PÚBLICO Y URBANO, 9. Mexico, 1998. *Memorias*. Guadalajara.
- MAGUIRE, D.J. (1991). An overview and definition of GIS. In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F.; RHIND, D.W. (Eds.). *Geographical Information Systems: principles and applications*. Longman Scientific & Technical, New York.
- MARTINELLI, D.R.; TENG, H. (1996). Optimization of railway operations using neural networks. *Transportation Research, Part C*, v.4, n.1. p.33-49.
- McCORMACK, E.; NYERGES, T. (1997). What transportation modeling needs from a GIS: a conceptual framework. *Transportation Planning and Technology*, n.21. p.5-23.
- McQUAID, R.W.; LEITHAM, S.; NELSON, J.D. (1996). Accessibility and location decisions in a peripheral region of Europe: a logit analysis. *Regional Studies*, v.30, n.6, p.579-588.
- MELIÇO, J.M. (1996). Estudio de la accesibilidad territorial conferida por la red de carreteras de Portugal en los años 1985 y 1995. *Rutas*, Enero-febrero.
- MELO, J.C. (1975). *Planejamento dos Transportes*. McGraw Hill, São Paulo.
- MENDES FILHO, E.F. (2000). *Redes Neurais Artificiais*. <http://www.icmc.sc.usp.br/~prico/neural1.html>. (19 Mai.).
- MEYER, M.D. (1984). *Urban transportation planning: a decision-oriented approach*. New York, USA.
- MILLER, H.J. (1991). Modelling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.5, n.3. p.287-301.
- MORENO, J.A.C. (1998). *Análisis de la movilidad en grandes áreas urbanas: el caso de Madrid*. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE, 10., Santander, Españã. p.143-153.

- MORRIS, J.M.; DUMBLE, P.L.; WIGAN, M.R. (1979). Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research, Part A*, v.13, n.2, p.91-109.
- MOSI, J.; MLAMBO, A.; LANGEN, M. de. (1998). Mobility planning for developing cities. Paper presented at WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8., Antwerp, Belgium. 12p.
- MOZOLIN, M.; THILL, J.C.; USERY, E.L. (2000). Trip distribution forecasting with a multilayer perceptron neural networks: a critical evaluation. *Transportation Research, Part B*, n.34. p.53-73.
- MOWFORTH, M.R.N. (1989). Trends in accessibility to employment in Greater London, 1971-1981. *Transportation Planning and Technology*, v.13, n.2, p.85-110.
- NAKATSUJI, T.; KAKU, T. (1989). Application of Neural Network Models to Traffic Engineering Problems. *Proceedings of the Infrastructure Planning*, v.12. p.297-304.
- NAKATSUJI, T.; KAKU, T. (1991). Developing of a self-organizing traffic control system using Neural Network Models. *Transportation Research Record*, 1324. p.137-145.
- NATH, R.; RAJAGOLAPALAN, B.; RYKER, R. (1997). Determining the saliency of input variables in Neural Network Classifiers. *Computers & Operational Research*, v.24, n.8. p.767-773.
- NICOLINI, J.L. (1998). Transportation in new urban areas: the case of Puerto Madero in Buenos Aires. Paper presented at the 8<sup>th</sup> WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH, Antwerpen, Belgium. *Book of Abstracts*. Universeit Antwerpen, p.263.
- NIEMEIER, D.A. (1997). Accessibility: an evaluation using consumer welfare. *Transportation*, v.24, n.4, p.377-396.
- NIEMEIER, D.A.; BEARD, M.K. (1993). GIS and transportation planning: a case study. *Computers, Environment, and Urban Systems*. p.31-43.
- NIELSEN, O.A.; JACOBSEN, C.R. (1995). Using GIS for traffic planning and impact modelling in municipalities. In: EUROPEAN TRANSPORT FORUM, 23. *Proceedings*. Seminar N Geographic Information System. p.93-107.
- NIJKAMP, P.; BLAAS, E. (1994). *Impact assessment and evaluation in transportation planning*. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- NIJKAMP, P.; REGGIANI, A.; TRITAPEPE, T. (1996). Modelling inter-urban transport flows in Italy: a comparison between neural networks analysis and Logit analysis. *Transportation Research, Part C*, v.4, n.6. p.323-338.
- NILDA, C.; ABRIANI, A.D. (1994). Sistemas de Información Geográfica en la planificación del transporte. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE TRANSPORTE PÚBLICO Y URBANO, 7, Buenos Aires, Argentina. *Memorias*.

- Ministerio de Economia y Obras y Servicios Públicos/CNTA/Municipalidad de la Ciudad de Buenos Aires. p.311-22.
- OLIVEIRA, M.E. (2000). *Redes Neurais Artificiais*. <http://geocities.com/CapeCanaveral/Runway/4303/enghar.html>. (05 Jun).
- ORTÚZAR, J.D.; WILLUMSEN, L.G. (1994). *Modelling Transport*. 2<sup>ed</sup> Edition. John Wiley & Sons, New York.
- OZO, A.O. (1986). Residential location and intra-urban mobility in a developing country: some empirical observations from Benin City, Nigeria. *Urban Studies*, n.23, p.457-470.
- PASCETTO, A.; BIANCO, P.A.D.; GENTILE, P.L. (1983). Criteria for the choice of modes of transport in the context of urban planning and operating conditions. In: INTERNATIONAL CONGRESS UITP, 45., Rio de Janeiro. *Teses*, v.1. International Commission on Traffic and Urban Planning. UITP. 42p.
- PIRIE, G.H. (1979). Measuring accessibility: a review and proposal. *Environment and Planning A*, v.11, n.13, p.299-312.
- PIRIE, G.H. (1981). The possibility and potential of public policy on accessibility. *Transportation Research*, v.15A, n.5, p.377-381.
- PINHEIRO, M.B. (1994). Mobilidade urbana e qualidade de vida: conceituações. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 8. 1994. *Anais*. Recife, ANPET. v.II, p.405-414.
- PINHEIRO, M.B. (1996). Avaliação da efetividade social das políticas de transporte. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 10. 1996. *Anais*. Brasília, ANPET. v.I, p.85-91.
- PIPKIN, J.S. (1995). Disaggregate models of travel behaviour. In: HANSON, S., ed. *The geography of urban transportation*. New York/London, The Guilford Press. p.188-218.
- POL, M.; ZOUTENDIJK, D; BLOM, U. (1994). Influence of Dutch mobility policy on emancipation process for women and men. *Transportation Research Record*, n.1493, p.136-142.
- POOLER, J.A. (1995). The use of spatial separation in the measurement of transportation accessibility. *Transportation Research, Part A*, v.29A, n.6, p.421-427.
- PUEBLA, J.G.; AGUAYO, R.E.G. (1997). Transport in Europe: a study of train accessibility using GIS. In: ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE. *Proceedings Archive*. <http://www.esri.com/base/commom/userconf/proc95/to100/p097.html>. (05 Sep.).
- PURVIS, C.L.; IGLESIAS, M.; EISEN, V.A. (1996). Incorporating work trip accessibility in nonwork trip generation models in San Francisco Bay Area. *Transportation Research Record*, n.1556, p.37-45.

- RAIA Jr., A.A. (1995). Uma análise do impacto provocado pelo desconto concedido a estudantes na tarifa das principais cidades brasileiras. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS, 10. 1995. *Anais*. São Paulo, ANTP. p.159-165.
- RAIA Jr., A.A.; SILVA, A.N.R. (1996). Relação acessibilidade-preço de terrenos com o uso de um SIG. In: CONGRESSO TÉCNICO E CIENTÍFICO DE ENGENHARIA CIVIL Florianópolis, 1996. *Anais*. Florianópolis, UFSC. v.3, p.338-348.
- RAIA Jr. A.A.; SILVA, A.N.R. (1999). *O crescimento, o transporte e a iniquidade das cidades em países em desenvolvimento*. In: CONGRESO CHILENO DE INGENIERIA DE TRANSPORTE, IX., Actas. Santiago, Chile. METRO/Sociedade Chilena de Ingenieria de Transporte. p.175-186.
- RAIA Jr. A.A.; SILVA, A.N.R.; LIMA, R.S. (1996). *Acessibilidade e valor de terrenos urbanos: o caso da cidade de Araraquara*. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE TRANSPORTES PÚBLICOS Y URBANOS, 8., *Anais (Disquetes)*. Curitiba. ANTP.
- RAIA Jr. A.A.; SILVA A.N.R.; LIMA, R.S. (1996). Utilizando um SIG para avaliar níveis de acessibilidade em uma cidade média. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2., *Anais*. Florianópolis. CTC/UFSC. Tomo III. p.193-204.
- RAIA Jr., A.A.; SILVA, A.N.R.; BRONDINO, N.C.M. (1997). Comparação entre medidas de acessibilidade para aplicação em cidades brasileiras de médio porte. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 11. 1997. *Anais*. Rio de Janeiro, ANPET. v.II, p.997-1008.
- RAIA Jr., A.A.; SILVA, A.N.R. (1998). Um método expedito para verificação da consistência de redes para uso em um SIG-T. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 12. 1998. *Anais*. Fortaleza, ANPET. v.II, p.10-17.
- RAIA Jr., A.A.; SILVA, A.N.R. (1999). Uma metodologia para verificação da consistência de redes de transportes com o uso de um SIG-T. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA, 5.1999. *Anais em CD ROM*. Salvador, FatorGIS.
- RAO, S.C.V.; RAO, K.K.V.; SIKDAR, P.K. (1999). Micro-simulation model for service employment location using ANN. In: RIZZI, P. (Ed.). *Proceedings of 6<sup>th</sup> The International Conference Computers In Urban Planning And Urban Management*, FrancoAngeli, Venice, Italy.
- REYES, A.M.V. (1996). La planeación estrategica y la movilidad de una ciudad . In: CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERIA DE TRANSITO Y TRANSPORTE, 10. *Anais (Disquete)*. Habana, Cuba.
- RICHARDSON, A.J.; AMPT, E.S.; MEYBURG, A.H. (1995). *Survey Methods for Transport Planning*. Eucalyptus Press. Parkville, Australia.

- RICHARDSON, A.J.; YOUNG, W. (1982). A measure of linked-trip accessibility. *Transportation Planning and Technology*, v.7, n.2, p.73-82.
- RIDLEY, T.M. (1985). A UITP e os países em desenvolvimento. *Revista dos Transportes Públicos*, n.30, p.59-81.
- RODRIGUE, J.P. (1997). Parallel modelling and neural networks: na overview for transportation/land use systems. *Transportation Research, Part C*, v.5, n.5. p.259-271.
- ROSADO, M.C.; ULYSSÉA NETO, I. (1999). Determinação de índices de acessibilidade a serviços de educação utilizando sistema de informações geográficas. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, XIII. *Anais*. São Carlos, 1999. ANPET. v.I, p. 29-39.
- ROSS, W. (1999). *Personal mobility or community accessibility: a planning choice with social, economic and environmental consequences*. Perth, Western Australia. 337p. Thesis (Doctor) – Murdoch University.
- RUMELHART, D.; HINTON, G.; WILLIAMS, R (1986). *Learning internal representations by error propagation parallel distributed processing: explorations in microstructure of cognition, 1: foundations*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. p.318-362.
- RYAN, S.; McNALLY, G. (1995). Accessibility of neotraditional neighborhoods: a review of design concepts, policies, and recent literature. *Transportation Research, Part A*, v.29A, n.2, p.87-105.
- SALES FILHO, L.H. (1997). Indicadores de acessibilidade: alguns aprimoramentos analíticos e seu uso na avaliação de redes estruturais de transporte urbano. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, XI. *Anais*. 1995. ANPET. Rio de Janeiro. v.2, p. 985-996.
- SALES FILHO, L.H. (1998). The accessibility matrix - a new approach for evaluating urban transportation networks. Paper presented at WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8., Antwerp, Belgium. 20p.
- SANCHES, S.P. (1996). Acessibilidade: um indicador do desempenho dos sistemas de transporte nas cidades. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 10. *Anais*, Brasília, 1995. ANPET. p.199-208.
- SANTOS, M. (1990). *Metrópole corporativa fragmentada: o caso de São Paulo*. São Paulo, Secretaria de Estado da Cultura/Nobel.
- SANTOS, M. (1993). *A urbanização brasileira*. São Paulo, Hucitec.
- SATHISAN, S.K.; SRINIVASAN, N. (1998). Evaluation of accessibility of urban transportation networks. *Transportation Research Record*, n.1617, p.78-83.
- SCARLATO, F.C. (1989). *Metropolização de São Paulo e o Terceiro Mundo*. 2.ed. São Paulo, Iglu.

- SCHAFFER, A.; VICTOR, D. (1997). The past and future of global mobility. *Scientific American*, v.277, n.4, p.36-39.
- SCHAFFER, A.; VICTOR, D. (2000). The future mobility of the world population. *Transportation Research, Part A*, v.34. p.171-205.
- SHMUELI, D.; SOLOMON, I; SHEFER, D. (1996). Neural Network analysis of travel behavior: evaluating tools for prediction. *Transportation Research, Part C*, v.4, n.3. p.151-166.
- SEADE-FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL ANÁLISE DE DADOS (2000). *Pesquisa Condições de Vida*. <http://www.seade.gov.br/cgi-bin/pcv/shtab?tra/PCV> (19 Mai.).
- SERRATOSA, A. (1996). El sistema viario y la política territorial. *Revista Accesibilidad y Territorio*, v.1, n.35, p.12-17.
- SHARMA, A.K.; DIAZ OLVERA, L. (1998). Comparative study of urban mobility in sub-Saharan and Asian cities: issues and priorities on policy formulations. Paper presented at WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8., Antwerp, Belgium.
- SHARMA, A.K.; GUPTA, S. (1998). Overview of urban transport in South Africa: lessons from Europe and proposed approach. In: FREEMAN, P. & JAMET, C. eds. (1998). *Urban transport policy: a sustainable development tool*. Rotterdam, The Netherlands, A.A. Alkema. p.669-674.
- SHAW, S.L. (1990). Study of the accessibility level in a multimodal transport network. In: MODELING AND SIMULATION CONFERENCE, 21. *Proceedings*. Pittsburgh. University of Pittsburg School of Engineering/Institute Society of America. p.7-11.
- SHEN, Q. (1997). Spatial technologies, accessibility, and the social construction of urban space. In: SIKDAR, P.K. *et al.* (Eds). *Computers in urban planning and urban management*. v.1. Bombay, India, Narosa Publishing House. p.70-84.
- SHIMBEL, A. (1953). Structural parameters of communication networks. *Bulletin of Mathematical Biophysics*. v.15, p.501-507.
- SILVA, A.N.R. (1998). *Sistemas de Informações Geográficas para Planejamento de Transporte*. Texto Sistematizado elaborado para concurso de Livre-docência. Departamento de Transporte, Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 112p.
- SILVA, A.N.R.; WAERDEN, P. van der. (1997). Combining Simplified Models and GIS to Estimate Urban Costs in Developing Countries. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN URBAN PLANNING AND URBAN MANAGEMENT, 5, Mumbai - India. *Proceedings*. Narosa Publishing House I. p.85-96.
- SILVA, A.N.R.; LIMA, R.S.; RAIJA Jr., A.A.; WAERDEN, P.V.D. (1998). Urban transportation accessibility and social inequity in a developing country. In:

- FREEMAN, P. & JAMET, C. eds. *Urban transport policy: a sustainable development tool*. Rotterdam, The Netherlands, A.A. Alkema. p.709-714.
- SINDUSCOM (2000). Pobreza, questão para ser melhor compreendida. Janela. Mais. Folha de São Paulo. p.31 (02 Jan).
- STEGMAN, M.A. (1969). Accessibility models and residential location. *Journal of the American Institute of Planners*, v.35, p.22-29.
- STEMERDING, M.P. (1996). *Modelling constraints-based choices for leisure mobility palnning*. Technische Universiteit Eindhoven. Bouwstenen, Proefschrift, Eindhoven. n.43.
- STOKES, R.W.; MARUCCI, G. (1995). GIS for Transportation: Current practices, problems and prospects. *ITE Journal*, Washington, D.C. v.3, n.66.p.28-37.
- SUBRAMANIAN, V.; HUNG, M.S.; HU, M.Y. (1993). An experimental evaluation of Neural Networks for classification. *Computers & Operations Research*, v.20, n.7. p.769-782.
- TAAFFE E.J.; GAUTHIER, H.L. (1973). *Geography of transportation*. Foudations of Economic Geography Series. Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- TAGORE, M.R.; SIKDAR, P.K. (1995). *A new accessibility measure accounting mobility parameters*. Paper presented at 7<sup>th</sup> WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH. The University of New South Wales, Sydney, Australia.
- TALLEN, E. (1998). Visualizing fairness: equity maps for planners. *Journal of the American Planning Association*, v.64, n.1, p.22-38.
- TALLEN, E.; ANSELIN, L. (1998). Assessing spatial equity: an evaluation of measures of accessibility to public playgrounds. *Environment and Planning A*, v.30, p.595-613.
- TEIXEIRA, A.L.A.; CHRISTOFOLETTI, A. (1997). *Sistemas de Informação Geográfica: dicionário ilustrado*. São Paulo, Hucitec.
- TUBB, N. R. (1993). A Development Path to Success in Neural Computing. *Expert Systems Applications*, v. 9, n. 5. p. 5-9.
- UBIERNA, J.A.J. (1996). Entorno físico y territorio: una aproximación a partir de los requerimientos de la persona. *Revista Accesibilidad y Territorio*, v.II, p.44-49.
- ULIED, A. (1995). *Accessibility to transportation networks and spatial development: definition of ICON indicador of connectivity to transportation networks*. Catalunya. Tese (Doutorado) – Universitat Politecnica de Catalunya, Espãna.
- ULIED, A.; ESQUIUS, A. (1996). Nuevas propuestas para la modelización del transporte y el territorio: el sistema UTS y el indicador ICON. *Revista Accesibilidad y Territorio*, v.1, n.35, p.30-39.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. EESC. Serviço de Biblioteca (1996). *Diretrizes para elaboração de dissertações e teses na EESC-USP*. São Carlos.
-

- VASCONCELOS, E.A. (1993). Os ônibus, os automóveis e as classes sociais: limites da política de transporte urbano no Brasil. *Revista dos Transportes Públicos*, n.58, p.13-29.
- VASCONCELOS, E.A. (1996a). *Transporte urbano, espaço e equidade*. São Paulo, Unidas.
- VASCONCELOS, E.A. (1996b). *Transporte urbano nos países em desenvolvimento*. São Paulo, Unidas.
- VASCONCELOS, E.A.; LIMA, I.M.O. (1998). *Quantificação das deseconomias do transporte urbano: uma resenha das experiências internacionais*. Texto para Discussão n.586. IPEA. Brasília.
- VASCONCELOS, E.A. (1999). Deseconomias do transporte urbano: visão geral da experiência internacional. *Revista dos Transporte Públicos*, n.82, p.11-34.
- VICENTE, O.; LAMADRID, A.; ARCUSÍN, S.; TURCO, N.; BRENNAN, P. (1992). La evolución de la movilidad de los habitantes de Buenos Aires. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 6. 1992. *Anais*. Rio de Janeiro, ANPET. v.2, p.760-772.
- VICKERMAN, R.W. (1974). Accessibility, attraction, and potential: a review of some concepts and their use in determining mobility. *Environment and Planning A*, v.6, n.6, p.675-691.
- VONDEROHE, A.P.; TRAVIS, L.; SMITH, R. (1991). *Implementation of Geographic Information Systems (GIS) in State DOTs*. National Cooperative Highways Research Program. p.1-32.
- WACHS, M.; KOENIG, J.G (1979). Behavioural modelling, accessibility, mobility and travel need. In: HENSHER, D.A.; STOPHER, P.R. eds. *Behavioural travel modelling*. Croom Helm, Becknham, Kent. p. 698-710.
- WACHS, M.; KUMAGAI, T.G. (1973). Physical accessibility as a social indicator. *Socioeconomic Planning Science*, v. 7, p.437-456.
- WADDELL, P. (1998). An urban simulation model for integrated policy analysis and planning residential location and housing market components of UrbanSim. Paper presented at WORLD CONFERENCE ON TRANSPORTATION RESEARCH, 8., Antwerp, Belgium. 20p.
- WAERDEN, P.V.D.; BORGERS, A.; TIMMERMANS, H.; SMEETS, J.; SILVA, A.N.R. (1999). The validity of conventional accessibility measures: objective scores versus subjective. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, XIII. *Anais*. São Carlos, 1999. ANPET. v.I, p.40-49.
- WEIBULL, J.W. (1980). On the numerical measurement of accessibility. *Environment and Planning A*, v.30, n.12, p.53-67.
- WEISBROD, G.; TREYZ, F. (1998). Productivity and accessibility: bridging project-specific and macroeconomic analyses of transportation investments. *Journal of Transportation and Statistics*, v.1, n.3, p.65-79.

WERMERSCH, F.G.; KAWAMOTO, E. (1999). Uso de Redes Neurais Artificiais para caracterização do comportamento de escolha do modo de viagem. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 13. 1999. *Anais*, v.III. São Carlos, ANPET. v.1, p.31-34.

ZAKARIA, T. (1974). Urban transportation accessibility measures: modifications and uses. *Traffic Quarterly*, v.28, n.3, p.467-479.

YU, J.C. (1983). *Transportation engineering: introduction to planning, design, and operations*. Elsevier Science Publishing.