

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
Departamento de Transportes

**EXPANSÃO URBANA E ACESSIBILIDADE – O
CASO DAS CIDADES MÉDIAS BRASILEIRAS**

Eng °. RENATO DA SILVA LIMA

ORIENTADOR: Prof. Dr. ANTÔNIO NÉLSON RODRIGUES DA SILVA

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Transportes.

SÃO CARLOS
Dezembro de 1998

*Ao meu pai, João Batista, à minha
irmã, Renata, aos meus irmãos
Reinaldo, Ronaldo e Rodrigo, e
principalmente à minha mãe, Maria
Aparecida, a quem devo tudo o que
sou na vida.*

AGRADECIMENTOS

- Ao amigo e orientador Antônio Néelson Rodrigues da Silva, pela paciência, competência e a quem devo a descoberta de minha vocação acadêmica.
- Aos amigos Archimedes Azevedo Raia Júnior e Raphael Wambier Fagundes, pelo auxílio em diversas partes desse trabalho.
- À Prof^a. Suely da Penha Sanches, à Eng^a Fernanda Martinelli Joaquim, e aos funcionários do IBGE de São Carlos, pelo fornecimento de dados para execução desse trabalho.
- Ao engenheiro e amigo Rone Evaldo Barbosa, pelo auxílio técnico em algumas figuras desse trabalho.
- Ao Prof. Dr. Eiji Kawamoto, meu segundo orientador, pela amizade e pelos valiosos conselhos.
- Aos demais funcionários e professores do STT, pela cooperação e incentivo.
- Aos amigos e colegas do Departamento de Transportes da EESC-USP, pelo apoio, incentivo e por todos os bons momentos que passamos.
- À FAPESP, pelo apoio financeiro sem o qual esse trabalho não teria sido desenvolvido.
- A todos os meus inúmeros amigos, meu bem mais valioso, personificados na figura dos meus “irmãos” Renato, Alex (*Budinha*) e Aluísio (*Buck Man*), pela paciência e por todos os grandes momentos ao longo desses anos de convivência.
- Aos amigos da Banda Fornalha, Marcelo (*Minduím*), Ronaldo (*TG*), Ricardo (*Nalha*) e Hugo, pela incessável fonte de energia para vencer as dificuldades dessa vida.
- A todos os outros que direta ou indiretamente colaboraram para a execução desse trabalho e por algum motivo não foram lembrados (a quem antecipadamente me desculpo).
- E principalmente a Deus, por tudo aquilo que me deu nessa vida, e por mais essa etapa vencida.

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| <i>LISTA DE FIGURAS</i> | v |
| <i>LISTA DE TABELAS</i> | vii |
| <i>RESUMO</i> | viii |
| <i>ABSTRACT</i> | ix |
| <i>1 INTRODUÇÃO</i> | 01 |
| <i>2 EXPANSÃO URBANA EM CIDADES MÉDIAS BRASILEIRAS</i> | 04 |
| <i>2.1 O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO</i> | 04 |
| <i>2.2 AS CIDADES MÉDIAS NO BRASIL: ESPALHAMENTO E VAZIOS URBANOS</i> | 06 |
| <i>2.3 EXPANSÃO URBANA EM SÃO CARLOS E ARARAQUARA</i> | 07 |
| <i>3 ACESSIBILIDADE EM TRANSPORTES</i> | 10 |
| <i>3.1 O CONCEITO DE ACESSIBILIDADE</i> | 10 |
| <i>3.2 ÍNDICES DE ACESSIBILIDADE</i> | 16 |
| <i>3.3 ÍNDICES SELECIONADOS</i> | 22 |
| <i>4 LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DOS DADOS</i> | 24 |
| <i>4.1 ÍNDICE DE ALLEN</i> | 24 |
| <i>4.1.1 Índice de Allen em São Carlos</i> | 25 |
| <i>4.1.2 Índice de Allen em Araraquara</i> | 28 |
| <i>4.1.3 Índice de Allen em Cidades Hipotéticas</i> | 33 |

| | |
|---|----|
| 4.2 ÍNDICE DE DAVIDSON | 37 |
| 4.2.1 Índice de Davidson em São Carlos | 38 |
| 4.2.2 Índice de Davidson em Araraquara | 43 |
| 4.2.3 Índice de Davidson em São Carlos em Relação aos Empregos | 48 |
| 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS | 51 |
| 5.1 ÍNDICE DE ALLEN | 51 |
| 5.1.1 Índice de Allen em São Carlos | 52 |
| 5.1.2 Índice de Allen em Araraquara | 56 |
| 5.1.3 Comparação do Índice de Allen: São Carlos X Araraquara | 60 |
| 5.1.4 Índice de Allen em Cidades Hipotéticas | 62 |
| 5.2 ÍNDICE DE DAVIDSON | 66 |
| 5.2.1 Índice de Davidson em São Carlos | 66 |
| 5.2.2 Índice de Davidson em Araraquara | 67 |
| 5.2.3 Índice de Davidson em São Carlos em Relação aos Empregos | 68 |
| 5.3 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A CESSIBILIDADE E OFERTA EM TRANSPORTE PÚBLICO | 69 |
| 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 72 |
| 7 BIBLIOGRAFIA | 77 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| <i>Figura 1 – Sistema Viário de São Carlos</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 2 – Loteamentos de São Carlos.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 3 – Expansão Urbana de São Carlos.....</i> | <i>29</i> |
| <i>Figura 4 – Sistema Viário de Araraquara</i> | <i>30</i> |
| <i>Figura 5 – Loteamentos de Araraquara</i> | <i>30</i> |
| <i>Figura 6 – Expansão Urbana de Araraquara.....</i> | <i>32</i> |
| <i>Figura 7 – Índice de Allen em São Carlos, Araraquara e nas Cidades Hipotéticas</i> | <i>36</i> |
| <i>Figura 8 – Densidade Populacional em São Carlos, 1980</i> | <i>38</i> |
| <i>Figura 9 – Densidade Populacional em São Carlos, 1991</i> | <i>39</i> |
| <i>Figura 10 – Índice de Davidson em São Carlos, 1980.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Figura 11 – Índice de Davidson em São Carlos, 1991.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Figura 12 – Índice de Davidson em São Carlos, 1980 (normalizado).....</i> | <i>42</i> |
| <i>Figura 13 – Índice de Davidson em São Carlos, 1991 (normalizado).....</i> | <i>42</i> |
| <i>Figura 14 – Densidade Populacional em Araraquara, 1980</i> | <i>43</i> |
| <i>Figura 15 – Densidade Populacional em Araraquara, 1991</i> | <i>44</i> |
| <i>Figura 16 – Índice de Davidson em Araraquara, 1980.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Figura 17 – Índice de Davidson em Araraquara, 1991.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Figura 18 – Índice de Davidson em Araraquara, 1980 (normalizado).....</i> | <i>47</i> |
| <i>Figura 19 – Índice de Davidson em Araraquara, 1991 (normalizado).....</i> | <i>47</i> |
| <i>Figura 20 – Porcentagem de Área Construída Comercial e Industrial, em Relação à Área Construída Total</i> | <i>49</i> |

| | |
|---|-----------|
| <i>Figura 21 – Índice de Davidson em São Carlos, 1991, Ponderado pela Área Construída Comercial e Industrial em Relação à Área Construída Total</i> | <i>50</i> |
| <i>Figura 22 – Distribuição de Frequências da Acessibilidade de Allen em São Carlos.....</i> | <i>54</i> |
| <i>Figura 23 – Evolução do Índice de Acessibilidade Global E em São Carlos</i> | <i>55</i> |
| <i>Figura 24 – Crescimento Percentual do Índice E em São Carlos</i> | <i>55</i> |
| <i>Figura 25 – Distribuição de Frequências da Acessibilidade de Allen em Araraquara</i> | <i>58</i> |
| <i>Figura 26 – Evolução do Índice de Acessibilidade Global E em Araraquara</i> | <i>59</i> |
| <i>Figura 27 – Crescimento Percentual do Índice E em Araraquara.....</i> | <i>59</i> |
| <i>Figura 28 – Evolução do Índice de Acessibilidade Global E em São Carlos e Araraquara</i> | <i>61</i> |
| <i>Figura 29 – Crescimento Percentual do Índice E em São Carlos e Araraquara</i> | <i>61</i> |
| <i>Figura 30 – Distribuição de Frequências da Acessibilidade de Allen em São Carlos, Araraquara e nas Cidades Hipotéticas.....</i> | <i>65</i> |
| <i>Figura 31 – Valores Mínimos e Máximos da Acessibilidade de Allen e Valor do Índice E em São Carlos, Araraquara e nas Cidades Hipotéticas.....</i> | <i>65</i> |
| <i>Figura 32 – Valores do Índice E em Cidades Circulares</i> | <i>75</i> |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| <i>Tabela 1 – Número de Interseções em São Carlos</i> | <i>27</i> |
| <i>Tabela 2 – Número de Interseções em Araraquara</i> | <i>31</i> |
| <i>Tabela 3 – Características das Cidades</i> | <i>35</i> |
| <i>Tabela 4 – Resultados para a Acessibilidade de Allen em São Carlos</i> | <i>53</i> |
| <i>Tabela 5 – Resultados para a Acessibilidade de Allen em Araraquara</i> | <i>56</i> |
| <i>Tabela 6 – Resultados para a Acessibilidade de Allen em São Carlos, Araraquara e nas Cidades Hipotéticas</i> | <i>63</i> |
| <i>Tabela 7 – Valores do Índice E em Cidades Circulares</i> | <i>75</i> |

RESUMO

Um dos problemas mais sérios enfrentados pelas cidades brasileiras, principalmente as de porte médio, é a expansão urbana desordenada, agravada pela falta de planejamento. O objetivo desse projeto de pesquisa é avaliar se essa expansão desordenada tem alterado os padrões de acessibilidade intra-urbana das cidades médias brasileiras, através de um estudo de caso em duas cidades médias, Araraquara e São Carlos, no interior do estado de São Paulo. A partir do levantamento de dois índices de acessibilidades, um do tipo separação espacial e outro do tipo gravitacional, foram comparados os seus valores, ao longo da segunda metade desse século para o índice tipo separação espacial, e em dois instantes, 1980 e 1991, para o índice tipo gravitacional, tentando-se extrair, dessa análise, a influência da evolução desordenada das duas cidades sobre os níveis de acessibilidade intra-urbana. Todo o cálculo das acessibilidades, bem como a análise do processo "expansão urbana x acessibilidade" foi desenvolvido em um Sistema de Informações Geográficas. Os resultados comprovaram a hipótese inicial, mostrando que a acessibilidade das duas cidades piorou com o crescimento das mesmas e sugerem que os índices de acessibilidade podem servir, em certa medida, como ferramentas de planejamento urbano.

ABSTRACT

A serious problem that Brazilian cities face is their rapid growth, which is often exacerbated by inadequate planning. The objective of this research project is to evaluate how the unplanned growth of medium-sized Brazilian cities has changed their intra-urban accessibility patterns. This will be done by analysing the growth and changes of two medium sized cities in the State of São Paulo (São Carlos and Araraquara) through time. Based on a careful analysis of the concepts and accessibility indices available in the international literature, two measures have been selected for the current application: the first measure deals only with the spatial separation of points within the urban area, while the second is a gravity-type index. The first measure was used to analyze the accessibility patterns in the cities of Araraquara and São Carlos over ten-year periods, from 1940 up to date. The gravity-type index was applied in the same cities, but considered only 1980 and 1991 data. The different scenarios were compared to investigate the influence of the two cities' unplanned growth on their intra-urban accessibility levels. The analysis of the development of urban growth and the resulting accessibility patterns was carried out using the Geographic Information System for transportation (GIS-T). The results support the initial assumption, with accessibility levels directly reflecting the periods of excessive growth. This shows that the spatial separation measure can easily be adapted for use as a planning tool for monitoring urban growth.

1 INTRODUÇÃO

Que as cidades brasileiras crescem de forma desordenada, não há dúvida. Os problemas daí decorrentes são freqüentemente agravados, no caso das cidades médias, pela ausência de planejamento urbano. Esse é o ponto de partida para esse trabalho, cujo objetivo é avaliar de que forma uma expansão desordenada tem alterado os padrões de acessibilidade intra-urbana nas cidades médias brasileiras. Adicionalmente, pode-se verificar a possibilidade de se considerar a melhoria da acessibilidade como meta do planejamento urbano.

O problema do crescimento desordenado das cidades pequenas e médias brasileiras se deve, em parte, a falta de estratégias específicas para o controle do crescimento e da expansão urbana. O que se pretende com esse trabalho é verificar como esse crescimento desordenado vem influenciando na acessibilidade das cidades em questão.

A partir da análise dessa influência pretende-se desenvolver uma metodologia que possa ser utilizada como ferramenta auxiliar no processo de planejamento urbano. Com essa metodologia, que pode vir a se constituir em um Sistema de Apoio às Decisões, será possível planejar o crescimento de uma cidade, antevendo o futuro acréscimo ou decréscimo na acessibilidade

global provocado por um novo loteamento, por exemplo. Dessa forma, pode-se direcionar o crescimento, de forma a melhorar continuamente as condições de acessibilidade intra-urbana.

Segundo WACHS & KOENIG (1979) existem diversas áreas de estudo de acessibilidade que carecem de mais projetos de pesquisas. Uma delas diz respeito à relação entre acessibilidade, demanda de viagens e ao arranjo físico da mancha urbana da cidade, área na qual se insere esse trabalho.

O trabalho se fundamenta em uma avaliação das medidas de acessibilidade encontradas em abundância na literatura internacional. A partir de uma análise cuidadosa dos conceitos e índices de acessibilidade encontradas nessa revisão bibliográfica, serão selecionados dois índices (que deverão ser adaptados a realidade das cidades médias brasileiras), um do tipo separação espacial e outro do tipo gravitacional. De posse desses índices, serão analisados os padrões de acessibilidade em São Carlos e Araraquara, cidades médias do interior paulista que possuem basicamente o mesmo número de habitantes (cerca de 180.000), ao longo da segunda metade desse século, para o índice tipo separação espacial, e em 1980 e 1991 (datas dos dois últimos censos do IBGE), para o índice gravitacional. Neste segundo caso, apenas os dois períodos são considerados devido a ausência de dados em outras épocas. Os diferentes cenários serão então comparados para verificar a hipótese inicial de que a expansão urbana das cidades diminui os níveis de acessibilidade intra-urbana. Todo o cálculo das acessibilidades, bem como a análise do processo "expansão urbana x acessibilidade" será desenvolvido em um Sistema de Informações Geográficas.

Espera-se que o resultado final deste trabalho, além de identificar o impacto que uma expansão desordenada produz sobre os níveis de

acessibilidade em cidades médias, venha a indicar que índices de acessibilidade podem servir, em certa medida, como ferramentas de planejamento urbano. Dessa forma, o impacto de cada alteração a ser introduzida na zona urbana de uma cidade poderia ser analisado *a priori*, evitando problemas futuros.

O presente trabalho apresenta detalhadamente o processo descrito acima, em 6 capítulos. Após a introdução apresentada nessa seção, o capítulo 2 trata da expansão urbana das cidades médias brasileiras. A revisão bibliográfica sobre acessibilidade e a definição dos índices utilizados são apresentados no capítulo 3. O capítulo 4 trata do levantamento dos dados, descrevendo a metodologia utilizada para o cálculo dos dois índices para as cidades de São Carlos e Araraquara. O capítulo 5 traz a análise e interpretação dos resultados, seguido das conclusões do trabalho, no capítulo 6. No capítulo 5 é feito ainda um breve comentário sobre o impacto que as mudanças na forma da cidade podem produzir sobre o sistema de transporte público, tomando por base o caso de Araraquara. A cidade se presta bem para essa avaliação devido a especificidade do sistema lá operado na Segunda metade do século, em que o trolebus teve papel importante. Finalmente, no capítulo 7, apresenta-se a bibliografia consultada.

2 EXPANSÃO URBANA EM CIDADES MÉDIAS BRASILEIRAS

O foco deste trabalho estará concentrado no caso das cidades médias, uma vez que presume-se que as cidades grandes (metrópoles) contam, em geral, com um maior número de estudos e equipes preparadas para enfrentar os problemas de planejamento urbano, enquanto que as cidades pequenas ainda não sofrem problemas sérios de crescimento. As cidades médias, por outro lado, enfrentam problemas que não exigem soluções muito sofisticadas por estarem em processo inicial, sendo plenamente viáveis ações de caráter preventivo, para que seu crescimento ocorra de forma planejada e controlada (RAIA JÚNIOR, 1995).

2.1 O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO

O processo de urbanização das cidades brasileiras ocorre de forma diferente daquele ocorrido nos países do primeiro mundo. Os países desenvolvidos, que passaram pela Revolução Industrial, tiveram seu processo de urbanização ocorrendo entre cem e duzentos anos. No Brasil, o processo

durou cerca de cinquenta anos, ocorrendo concomitantemente com seu processo de industrialização, e não como consequência dele, como no caso dos países desenvolvidos (RAIA JÚNIOR, 1995).

Segundo FERRARI (1986) a urbanização vêm, em nível mundial, aumentando gradativamente. Em 1800 (início da Revolução Industrial), havia no mundo apenas 20 cidades com mais de 100 mil habitantes e nenhuma delas atingia 1 milhão de habitantes, sendo que apenas 1,7% da população mundial era urbana. Em 1850, já havia 4 cidades com mais de 1 milhão de habitantes e, em 1900, esse número chegava a 19. Na década de 50, constatou-se a existência de 141 cidades com mais de 1 milhão de habitantes; 3 cidades com população acima de 10 milhões e 13% da população mundial era urbana.

No Brasil, entre 1940 e 1991, a população total cresceu 355% e a urbana algo em torno de 750%. Segundo NOVAK (1988), a previsão é que no ano 2000 a população brasileira esteja próxima de 180 milhões de habitantes. Esse crescimento demográfico é atribuído a uma natalidade elevada e a uma queda na taxa de mortalidade, como consequência de melhorias sanitárias, aumento nos padrões de vida e a urbanização propriamente dita (SANTOS, 1993, *APUD* RAIA JÚNIOR, 1995).

SILVA (1993) afirma que o maior problema para as cidades brasileiras não é o seu crescimento em si, mas sim a concentração na distribuição da população. Diz ainda que as cidades entre 100 e 500 mil habitantes poderão apresentar grande número de problemas, já que terão maior participação relativa da população brasileira até o ano 2000. Assim recomenda um planejamento adequado, já no presente, para evitar problemas futuros.

2.2 AS CIDADES MÉDIAS NO BRASIL: ESPALHAMENTO E VAZIOS URBANOS

A classificação de uma cidade como sendo de porte médio varia de acordo com diversos autores. Para esse trabalho, considerar-se-á que as cidades médias são aquelas cuja população esteja na faixa de 100 a 500 mil pessoas, uma faixa de valores próxima daquela levantada pelo GEIPOT (1985), que estudou 52 cidades de porte médio no país, cuja população variava de 80 a 460 mil habitantes.

As cidades brasileiras (pequenas e médias), como resultado do processo de colonização, seguem geralmente um traçado regular, do tipo grelha, desenvolvendo-se a partir de um ponto principal, que geralmente é a Igreja Matriz ou a estação ferroviária. De maneira geral, essas cidades desenvolvem um pequeno centro comercial ao redor desse ponto inicial, com muitas ruas locais e poucas arteriais. Nesta área central se concentra a maior atração de viagens. São Carlos e Araraquara, objetos de estudo desse trabalho, são exemplos desse tipo de cidade.

Segundo SILVA (1993), o espalhamento urbano pode ocorrer como consequência de dois processos: baixas densidades em zonas residenciais resultantes de grandes lotes individuais; e descontinuidade na ocupação do solo urbano, onde parcelas (lotes) ficam, a princípio, sem uso, sendo utilizadas mais tarde, quando zonas mais distantes forem ocupadas. No Brasil, o espalhamento se deve basicamente ao segundo processo, ou seja, a formação de grandes vazios urbanos. A especulação (entendida aqui como ganho sem investimento, a não ser o investimento inicial da compra de terra) é sem dúvida a principal causa do espalhamento urbano, expulsando os pobres

para a periferia, tanto nos grandes centros como nas médias e pequenas cidades.

Segundo RAIA JÚNIOR (1995), *“a formação dos vazios ocorre porque novos loteamentos são implantados em áreas não contíguas aos loteamentos existentes, dotados de alguma infra-estrutura. Assim, áreas de terras desocupadas são mantidas entre os antigos bairros e os novos, as quais adquirem uma valorização pelo efeito das externalidades positivas geradas no seu contorno”*. Esse vazios urbanos contribuem para aumentar o ônus que recai sobre a população de baixa renda, na medida em que esse vazios mantêm em ociosidade uma infra-estrutura que teve os custos socializados, porque foram financiados pelos recursos públicos, em grande parte provenientes do pagamento de tributos (OLIVEIRA ET AL., 1989). Além disso, a acessibilidade em relação aos locais de concentração de empregos e aos melhores equipamentos públicos diminui, pois são dificultados pela distância. O aumento da distância faz crescer o tempo e o valor gasto no transporte, em detrimento da produção e do lazer.

2.3 EXPANSÃO URBANA EM SÃO CARLOS E ARARAQUARA

São Carlos e Araraquara sofreram modificações em suas malhas urbanas semelhantes à maioria das cidades médias brasileiras, caracterizando uma expansão urbana desordenada, devido a diversos fatores. O alto preço do solo urbano e da habitação popular, gerado pela especulação imobiliária, obriga a população a procurar locais mais afastados para residir, onde os custos relativos à ocupação do solo são menores que nas regiões centrais das

idades, aumentando os vazios urbanos. O processo de loteamento do solo foi mais rápido do que sua ocupação efetiva, criando vazios a espera de valorização imobiliária. Em Araraquara, alguns loteamentos desrespeitaram as leis do PDDI (Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado), pois foram aprovados mesmo estando fora do perímetro urbano, como chácaras de recreação, mas na verdade sendo utilizados como residências com características urbanas. Isso obrigou a Prefeitura de Araraquara até mesmo a ampliar o perímetro urbano, em 1977/1978.

Um outro fator que contribuiu para a expansão urbana desordenada foi a inflação galopante, principalmente na segunda metade da década de 70, após o milagre econômico brasileiro, que favorecia a compra de imóveis com a função de reserva de valor. Além disso, a criação de distritos industriais arrastava para junto de si loteamentos para a classe operária.

Em São Carlos, já na década de 50, houve uma explosão no tamanho da cidade, com um crescimento de quase 100% em relação à década de 40. Daí em diante, o crescimento se manteve de forma acelerada, com enormes áreas nitidamente rurais sendo incorporadas a cidade entre 1970 e 1988. Apenas após 1988 a cidade parece reduzir o seu ritmo de crescimento, talvez como consequência do elevado número de vazios nas áreas já loteadas (estimado em 15000 lotes em 1996) (SILVA, 1997a). Muitos desses terrenos encontram-se em áreas centrais da cidade, já servidos por toda uma rede de infra-estrutura, mais que ainda são mantidos vazios a espera de uma maior valorização à custa de investimento público. Não é difícil localizar na cidade bairros inteiros com ruas pavimentadas e praticamente sem casas.

SILVA & FERRAZ (1991), num estudo específico para a cidade de São Carlos, mostraram que a simples reorganização da cidade em padrões de densidade mais elevados (diminuindo sensivelmente os vazios urbanos)

poderia reduzir a quilometragem diária do sistema de transporte público de 13500 para cerca de 4000 quilômetros. O custo adicional decorrente das distâncias percorridas hoje serão pagos indefinidamente pela sociedade. Mais ainda, os autores mostraram que a economia obtida com as redes de infraestrutura poderia chegar próximo de 9 milhões de dólares, se a cidade tivesse sido ocupada com níveis de densidade semelhantes aos das regiões mais adensadas da própria cidade (naquela época ainda não tão verticalizada).

Todos os fatores aqui mencionados parecem mostrar que as cidades médias, aqui exemplificadas em São Carlos e Araraquara, seriam melhores, no que concerne a distribuição espacial das mesmas, se a ocupação tivesse sido mais racional, se o número de vazios urbanos não fosse tão alto e se a densidade populacional bruta das cidades não fosse tão baixa, ou seja, se a expansão das cidades tivesse sido feita de forma planejada. O que se pretende agora avaliar é como essa expansão desordenada prejudicou os níveis de acessibilidade intra-urbana. Para isso, será apresentada no próximo capítulo a revisão bibliográfica que foi realizada sobre os conceitos de acessibilidade, a fim de identificar índices que possam representá-la de forma adequada nas cidades médias brasileiras.

3 ACESSIBILIDADE EM TRANSPORTES

Após o breve comentário sobre a expansão urbana das cidades médias brasileiras, realizado no capítulo anterior, iniciou-se o processo de identificação de medidas de acessibilidade na literatura de planejamento de transportes. Foi feita uma revisão bibliográfica buscando identificar e selecionar indicadores de acessibilidade ao transporte nas cidades. A revisão compreendeu artigos nacionais e internacionais, procurando no entanto, no caso de trabalhos estrangeiros, selecionar as medidas de acessibilidade que se adaptassem às particularidades das cidades brasileiras.

3.1 O CONCEITO DE ACESSIBILIDADE

A influência da acessibilidade aos transportes no planejamento urbano vem sendo estudada desde o início do século XIX. No Brasil, não têm sido muitos os trabalhos sobre o tema (BORGES, 1975; NIGRIELLO, 1977; JANUÁRIO, 1995; SANCHES, 1996; LIMA, 1996; RAIA JÚNIOR ET AL., 1997; SALES FILHO, 1997; ARRUDA, 1997).

O conceito de acessibilidade possui diferentes definições, fundamentadas em diferentes teorias. De uma forma geral, poder-se-ia 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 JÚNIOR ET AL., 1997). É ainda um indicador que permite avaliar a facilidade de acesso da população de uma determinada área às oportunidades de emprego e aos equipamentos sociais da cidade (SANCHES, 1996). A acessibilidade é ainda função de uma série de outros fatores, como período do dia a que se refere, objetivos de viagem considerados, entre outros. Dependendo da necessidade para os quais são utilizados, os indicadores de acessibilidade variam quanto ao grau de simplicidade, podendo ser desde medidas de distância entre o local de origem das viagens e o local de destino, até avaliações do valor do tempo do usuário do sistema de transportes.

Um local com alta acessibilidade será mais atrativo do que um local com baixa acessibilidade e portanto será mais valorizado. Não se pode dizer que a acessibilidade seja o único determinante do valor de uma localidade, mas certamente é um dos mais importantes. Dessa forma, qualquer mudança na acessibilidade de um local poderá influenciar a valorização desse local. Pode-se dizer, genericamente, que um dos modos de promover o desenvolvimento urbano e regional de uma área é aumentar sua acessibilidade, embora essa não seja a única condição para que isso ocorra. Realizando-se uma ação que reduzirá, relativa ou absolutamente, a acessibilidade de uma

área, haverá implicações sociais, especialmente se a referida área já possuir outras limitações (SANTANNA, 1995).

Acessibilidade assim definida sofre influências do tipo de sistema de transportes e da distribuição de atividades em uma área. Uma mudança no sistema de transportes ou distribuição de atividades irá mudar o valor da acessibilidade, sendo que essa mudança ocorrerá de diferentes maneiras para diferentes lugares (BORGES, 1975).

SANCHES (1996) diz que é necessário um indicador que incorpore tanto aspectos relacionados à distribuição das atividades quanto aspectos relacionados ao sistema de transportes para representar adequadamente o fenômeno da circulação urbana. Sendo assim, a acessibilidade é um indicador particularmente apropriado para avaliar a qualidade do transporte nas cidades, pois esta é função tanto do padrão do uso do solo como das características dos sistemas de transporte.

A melhoria da acessibilidade é uma das metas de longo prazo que se tenta atingir com o planejamento de transportes, tendo sido aplicada para uma grande quantidade de problemas (ERLANDER & STEWART, 1990). Uma considerável variedade de medidas de acessibilidade tem sido proposta nos últimos 30 anos, tendo sido aplicadas para uma grande quantidade de problemas (ALLEN ET AL., 1993).

Segundo BRUTON (1979), índices de acessibilidade "*medem a facilidade com que uma área, com certas atividades atraentes, pode ser alcançada a partir de uma zona particular e através de um determinado sistema de transportes. A acessibilidade da zona i para a zona j é definida como o produto do número de viagens atraído pela zona j, multiplicado pelo fator de fricção para as viagens interzonais. O somatório destes produtos da*

zona i para todas as outras zonas na área, é o índice de acessibilidade para a zona i."

INGRAM (1971) diz que a acessibilidade é a característica de um determinado local com respeito a alguma forma de fricção (alguma medida de tempo ou distância). Para MORRIS ET AL. (1978) a acessibilidade é função do número de oportunidades de escolha. TAGORE & SIKDAR (1995) dizem que a acessibilidade é o potencial de oportunidades de interação de cada ponto com todos os outros.

Para ORTUZAR & WILLUMSEN (1994), medida de acessibilidade é a facilidade ou dificuldade de realizar viagens para/de cada zona de tráfego. Variações no grau de acessibilidade estão relacionadas com as variações na densidade populacional e no valor da terra (INGRAM, 1971).

SHEN (1998) relata que a acessibilidade denota a facilidade com que as oportunidades espacialmente distribuídas podem ser atingidas a partir de um determinado local através de um determinado sistema de transportes. A acessibilidade é ainda função tanto das características do uso do solo quanto da performance do sistema de transportes. O autor estuda a acessibilidade ao emprego dos trabalhadores de baixa renda de Boston, tendo enfrentado dificuldades metodológicas para medir essa acessibilidade apropriadamente e para distinguir a acessibilidade como causa ou efeito dos empregos. Apesar da descentralização das oportunidades de emprego em Boston nas últimas décadas, a localização central das residências dá aos trabalhadores alguma vantagem na acessibilidade aos empregos. Uma conclusão interessante é que a separação espacial está perdendo a importância pois o transporte está ficando cada vez mais barato em decorrência da rápida evolução tecnológica, que além de diminuir os custos monetários proporciona viagens mais rápidas, fazendo com que as distâncias deixem de ser um problema tão grande.

BRUINSMA & RETVELD (1998) estudaram a acessibilidade em cidades européias, uma vez que esse tipo de variável teve sua importância valorizada com a União Européia. Os autores estudaram e compararam a acessibilidade em sete cidades européias, e os resultados mostraram que as diferenças nos padrões de acessibilidade das cidades eram devidas às diferenças nas redes de infra-estrutura e no tipo de transporte adotado como principal em cada cidade (rodoviário, ferroviário, aeroviário, entre outros).

TALLEN & ANSELIN (1998) concentraram seus estudos no tipo de tratamento metodológico que era dado as questões relativas à acessibilidade. Os autores realizaram uma análise espacial, baseada num modelo gravitacional, para avaliar o grau de atendimento das diversas classes sociais aos parques públicos, na cidade de Tulse, Oklahoma, ponderado por alguns indicadores sócio-econômicos. Os resultados mostraram que a caracterização das regiões como sendo de “alta acessibilidade” e “baixa acessibilidade” variava significativamente dependendo das variáveis utilizadas, o que é um fato observado em vários estudos de acessibilidade.

DAVIDSON (1995) diz que a acessibilidade é a facilidade com que cada ponto pode se ligar com todos os outros, podendo ser um fator determinante na distribuição das atividades numa determinada área. Uma localidade com maior acessibilidade tenderá, para muitos objetivos, a ser mais atrativa que uma outra com menor acessibilidade e, portanto, mais valorizada. Dessa forma, acessibilidade é um fator fundamental no planejamento urbano e de transportes. O autor propõe uma nova metodologia para o tratamento de questões relativas a acessibilidade, através de uma função inversa, denominada isolamento, que é uma medida negativa da utilidade. Acessibilidade e isolamento são características de um local definidas pelo sistema de transporte existente e pelo uso do solo na região (distribuição de

atividades). Se o isolamento for visto como uma medida da desutilidade de um local, um aumento na acessibilidade significa uma redução no isolamento ou na desutilidade do local (DAVIDSON, 1995).

ALLEN ET AL. (1993) apresentaram também uma nova visão da acessibilidade, aprofundando o trabalho de INGRAM (1971), criando um índice de acessibilidade capaz de indicar a acessibilidade de uma região inteira, permitindo comparações entre regiões, e não apenas entre pontos dentro de uma mesma região. A característica comum entre o índice de Ingram 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 consideraram características de demanda-oferta ou aspectos comportamentais em seus modelos. Deste modo, elas são medidas de acessibilidade simples, uma vez que não necessitam muitos dados. Os autores utilizaram, como medidas de fricção, o tempo e a distância. Contudo, qualquer outra característica do sistema de transporte pode vir a ser utilizada, como o custo generalizado, por exemplo.

POOLER (1995) questiona o trabalho de ALLEN ET AL. (1993). Ele começa descrevendo os índices de acessibilidade mais comuns encontrados na literatura, nos quais distâncias e algum tipo de medida de tamanho (população) são muitas vezes usadas. A seguir, ele enfatiza que o índice proposto por ALLEN ET AL. (1993) nada mais é do que o tempo médio de viagem, o qual não é novo na literatura. Ele também afirma que a revisão da literatura foi limitada a 30 anos, quando deveria ser muito mais antiga (pelo menos 50 ou 60 anos). Assim sendo, ALLEN ET AL. (1993) não buscaram as reais origens do seu índice. Entretanto, a crítica a esse índice parece exagerada, pois o tempo médio de viagem não deixa de ser uma das variáveis

mais importantes no Planejamento de Transportes, fazendo com que aquele trabalho seja de grande valia no estudo da acessibilidade.

O conceito de acessibilidade pode possuir diferentes significados, de acordo com o aspecto a que se refere. Entretanto, não deve ser confundido com o conceito de mobilidade, que é a capacidade de um indivíduo deslocar-se, e o uso que esse indivíduo faz dessa capacidade. Acessibilidade, por outro lado, está geralmente relacionada com a oportunidade que um indivíduo tem de participar de uma atividade particular, alcançando facilmente um determinado destino ou atividade. A oportunidade de alcançar um destino é usualmente expressa matematicamente pelo chamado “*índice de acessibilidade*”, que a relaciona a parâmetros, como por exemplo, custo de viagem, tempo de viagem, etc (SANTANNA, 1995). Várias formulações matemáticas foram pesquisadas na literatura para a quantificação da acessibilidade e os resultados são apresentados a seguir.

3.2 ÍNDICES DE ACESSIBILIDADE

Os índices de acessibilidade têm sido utilizados há muitos anos em estudos de transportes, para modelar a localização das atividades, para estimar a escolha modal e para avaliar o nível de serviço dos sistemas (SANCHES, 1996). Dentro da literatura técnica, existem várias formulações para os índices de acessibilidade. Porém, como já citado anteriormente, todas têm basicamente o mesmo significado. As variações existentes em cada método são devidas as necessidades específicas para cada caso. Algumas variáveis novas nesse tipo de avaliação foram utilizadas, como no estudo de

DAVIDSON (1995), que introduziu o conceito de isolamento, como função inversa da acessibilidade, e no de TAGORE & SIKDAR (1995), que analisam a mobilidade como uma das variáveis da acessibilidade.

INGRAM (1971) estabeleceu uma distinção entre acessibilidade relativa e integral. Acessibilidade Relativa seria o grau de interligação entre dois pontos, e Acessibilidade Integral o grau de interligação de cada ponto com todos os outros. Matematicamente, a acessibilidade integral de um ponto i seria:

$$A_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (1)$$

Onde a_{ij} seria a acessibilidade relativa entre os pontos i e j e A_i a acessibilidade integral de cada ponto.

INGRAM (1971) estudou o caso da cidade de Ontário (Canadá), subdividida em 466 áreas. Como medida de fricção, o autor utilizou a distância média entre dois pontos, tendo em vista que ela afeta o grau de acessibilidade relativa entre ambos. Esse efeito pode ser sentido de vários modos, incluindo tempo e custo de viagem. O autor testou diversos tipos de curvas para representar com precisão os valores da acessibilidade relativa, e a que se mostrou mais adequada foi a curva do tipo normal ou gaussiana. Foi ainda observado que devem ser utilizadas funções lineares como medidas de distância, para que os resultados se aproximem mais da realidade.

Uma classificação útil dos indicadores de acessibilidade é dada por MORRIS ET AL. (1978). As duas principais bases de classificação são as comportamentais (indicadores de processo e de produto) e a distinção entre acessibilidade relativa e integral. Indicadores de processo são baseados nas características fornecidas do sistema e/ou dos indivíduos, enquanto indicadores de produto são baseados no uso atual e no nível de satisfação dos

indivíduos. A maior desvantagem em se utilizar estes índices é a dificuldade de excluir a influência de escolhas e restrições.

Indicadores de processo podem ser divididos em dois grupos: *i*) medidas que simplesmente descrevem a facilidade de tráfego através de um dado sistema de transporte, que podem ser úteis somente na localização com precisão de deficiências notórias no sistema de transportes e *ii*) medidas para atividades ou oportunidades selecionadas utilizando um sistema de transportes, medidas essas mais utilizadas que as do primeiro tipo.

Assim como INGRAM (1971) obteve o índice de acessibilidade integral de um ponto pela integração do índice de acessibilidade relativa a todos os outros pontos, ALLEN ET AL. (1993) desenvolveram um novo índice de acessibilidade para uma dada área, com base na integração do índice de acessibilidade integral de todos os pontos que compõem a referida área. Esse novo índice, chamado de “E” é uma integração normalizada da acessibilidade integral sobre os diversos locais, ou uma integração dupla normalizada da acessibilidade relativa, uma extensão natural do desenvolvimento de INGRAM (1971). “E” é definido como o índice de acessibilidade total de uma área, porque esse índice fornece uma medida do grau de interconecção entre as localidades dentro da área.

Para se obter um valor prático do índice de acessibilidade total, duas importantes questões devem ser respondidas. A primeira questão refere-se à sensibilidade do índice com relação ao número de localidades utilizado no cálculo. Se um grande número de localidades tivesse que ser utilizado para se obter uma medida estável do índice, o cálculo de “E” provavelmente seria impraticável, porque envolveria elevados custos e grande dispêndio de tempo para que fosse completado. A segunda questão refere-se à capacidade do índice de refletir o nível de acessibilidade total de uma área, especialmente

quando um pequeno número de localidades for utilizado no cálculo. As respostas a essas questões dependem do contexto em que o índice for utilizado.

O índice proposto por ALLEN ET AL. (1993) mede o esforço de transposição da separação espacial entre os pontos de uma região. Esse índice não tem fundamentação comportamental. Em contrapartida, é operacionalmente simples e os resultados são muito fáceis de serem interpretados. Estes dois pontos são fortes razões a favor da sua utilização. Matematicamente, o índice de Allen é expresso por:

$$A_i = \frac{1}{N-1} \sum_j C_{ij} \quad (2)$$

Onde:

A_i = acessibilidade da zona i ;

N = número de localidades (pontos) usadas no cálculo; e

C_{ij} = custo percebido pelo viajante entre as zonas i e j .

Apesar do conceito de acessibilidade ser visto de diferentes formas, DAVIDSON (1995) sugere que, para o propósito de testar alternativas de transportes e organização do uso do solo, ele deveria tanto quanto possível ser definido, bem como utilizar somente dados que estejam realmente disponíveis, sejam consistentes e capazes de predizer com o máximo de segurança uma situação real. Matematicamente, a definição de acessibilidade que cumpre esses requisitos pode ser expressa por:

$$A_i = \sum_j S_j \times f(C_{ij}) \quad (3)$$

Onde:

A_i = acessibilidade da zona i ;

S_j = medida de atratividade na zona j ;

C_{ij} = custo percebido pelo viajante entre as zonas i e j ;

f = função impedância (potência ou exponencial).

Desenvolvendo a expressão da acessibilidade, obtêm-se à sua função inversa, o isolamento:

$$Y_i = f^{-1}(X_i / S_T) \quad (4)$$

Onde:

Y_i = isolamento da zona i ;

S_T = soma total de S_j .

Segundo TAGORE & SIKDAR (1995), existem 3 componentes essenciais para a caracterização da acessibilidade, a saber:

- 1) localização e caracterização da população residente;
- 2) distribuição geográfica e intensidade das atividades econômicas;
- 3) as características do sistema de transportes existentes.

Os autores inserem no estudo de acessibilidade a influência da mobilidade. A acessibilidade é dada pela relação:

$$A_i = \left(\sum_j S_j \times f(t_{ij}) \times \exp(\gamma \times M_i) \right) / \sum S_j \quad (5)$$

Que é uma variação do modelo gravitacional, com a inclusão da mobilidade, onde:

A_i = acessibilidade da zona **i**;

S_j = alguma medida de atividade;

$f_{(ij)}$ = função de calibração de viagens;

M_i = mobilidade da zona **i**;

γ = coeficiente de calibração de mobilidade.

Os autores estudaram o caso da cidade de Bombaim (Índia). Para a quantificação da mobilidade, foram analisadas 5 variáveis:

- 1) disponibilidade de ônibus;
- 2) disponibilidade de trens;
- 3) renda da família;
- 4) densidade da rede de transporte público;
- 5) número de estações de trens na zona em estudo.

Com essas variáveis foi calculada a mobilidade parcial, relativa a cada variável, como sendo a frequência de ocorrência da variável em questão na zona **i**, dividida pela ocorrência em todas as zonas:

$$m_i^k = F_i^k / \sum F_j^k \quad (6)$$

A mobilidade da zona **i** foi calculada como sendo a somatória de todas as mobilidades (de cada variável):

$$M_i = \sum_k m_j^{(k)} \quad (7)$$

A acessibilidade de Bombaim foi calculada pela fórmula definida pelos autores, utilizando:

$$\gamma = 1 \quad (8)$$

$$f(t_{ij}) = e^{-\alpha t_{ij}} (t_{ij})^\beta \quad (9)$$

Onde:

t_{ij} = tempo de viagem entre as zonas i e j

α, β = fatores de calibração

Os resultados obtidos representaram melhor o quadro real de acessibilidade em relação aos estudos que não consideravam a mobilidade como variável da acessibilidade. Apesar disso, não será incluída no presente estudo de acessibilidade nas cidades brasileiras a variável mobilidade, principalmente pela dificuldade de obtenção de dados para alimentação do modelo.

3.3 ÍNDICES SELECIONADOS

Como já foi enfatizado na introdução, o que se pretende com este trabalho é que ele sirva como um auxiliar no processo de planejamento urbano. Para isso, é preciso que se identifique a influência expansão das cidades na acessibilidade das mesmas. A grande dificuldade é que a acessibilidade é um índice de difícil comparação no tempo e no espaço. No entanto, a metodologia proposta por ALLEN ET AL. (1993) permite a comparação da acessibilidade para regiões diferentes, através do conceito de acessibilidade global “E” sugerido pelos autores. A partir desse conceito é possível estudar agora a variação da acessibilidade não apenas espacialmente, mas também em momentos distintos do tempo, analisando, por exemplo, os

índices de acessibilidade em intervalos até anuais. Adicionalmente, pode-se analisar um outro índice que considere aspectos de demanda, desde que se defina um sistema de normalização dos resultados para que se possa comparar esse índice em diferentes instantes do tempo. Por esses fatores, optou-se por utilizar para as análises aqui conduzidas as medidas de acessibilidade do tipo separação média entre zonas, proposta por ALLEN ET AL. (1993) e uma medida de acessibilidade do tipo gravitacional (DAVIDSON, 1995). De agora em diante, como as referências a esses trabalhos se repetirão muitas vezes, as mesmas serão indicadas simplesmente por Allen e Davidson, respectivamente.

O uso desses dois índices se justifica pelo fato que o de Allen é relativamente simples de ser calculado e o de Davidson é mais sofisticado, pois inclui aspectos de atratividade, requerendo maiores recursos de tempo e de informações. Assim, considerando que no Brasil, principalmente nas cidades de porte médio, os dados geralmente não estão disponíveis e o custo para o seu levantamento, tratamento e processamento é alto, convém saber se é realmente necessário utilizar índices mais sofisticados em planejamento urbano e de transportes ou se índices mais simples já são suficientes para representar o quadro real, com razoável grau de fidelidade.

4 LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Definidos os índices de acessibilidade a serem utilizados, o passo seguinte foi o levantamento dos dados necessários para o cálculo desses índices. Esse capítulo apresenta o resultado desse levantamento e do tratamento dos dados, primeiro para o Índice de Allen e depois para o índice de Davidson, nas cidades de São Carlos e Araraquara.

4.1 ÍNDICE DE ALLEN

O índice proposto por Allen mede o esforço de transposição da separação espacial entre pontos quaisquer, neste caso as interseções das cidades de São Carlos e Araraquara. Entende-se por interseção qualquer ponto inicial ou final de um trecho do sistema viário da cidade. ALLEN ET AL. (1993) sugeriram em seu artigo utilizar o tempo de viagem como o custo percebido pelo viajante, mas será utilizada a distância nesta aplicação. Isto não deve ser um problema, considerando que São Carlos e Araraquara são cidades de porte médio, e geralmente cidades brasileiras de portes pequeno e médio não sofrem

ainda o problema de congestionamento de forma tão intensa. Em outras palavras, como a velocidade do tráfego não varia muito dentro da cidade as distâncias e tempos de viagens conduzem a resultados similares na escala de valores de acessibilidade. Assim, para este trabalho, a expressão utilizada foi:

$$A_i = \frac{1}{N-1} \sum_j Dist_{ij} \quad (10)$$

Onde:

A_i = Acessibilidade da interseção i ;

$Dist_{ij}$ = distância entre as interseções i e j , através do sistema viário;

N = número de interseções utilizadas no cálculo.

4.1.1 Índice de Allen em São Carlos

Para o cálculo do Índice de Allen para São Carlos foi necessária a digitalização do sistema viário da cidade, feita no *software* TransCAD, um SIG-T (Sistemas de Informações Geográficas para aplicação em Transportes). No mapa gerado (Figura 1), as ruas e avenidas são representadas pelo seu eixo e cada ponto inicial e final de cada um dos trechos corresponde a um nó (numa camada associada), que constituem as interseções. Com isso, o mapa foi caracterizado como uma rede, o que possibilita ao SIG, por exemplo, calcular a menor distância de uma interseção para qualquer outra, propriedade que será utilizada para o cálculo das acessibilidades.

De posse do mapa do sistema viário e das interseções, o próximo passo foi determinar a extensão da malha urbana de São Carlos em diversos instantes da história da cidade. A idéia inicial seria apenas estudar a acessibilidade da cidade em 1980 e 1991, anos que correspondem aos dois últimos censos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), mas

optou-se por também calcular o Índice de Allen para outras datas, a partir de 1940, para que se pudesse acompanhar melhor o processo de evolução urbana de São Carlos. Para isso, foi digitalizado o mapa dos loteamentos de São Carlos, que é apresentado na Figura 2. Esse mapa contém todos os loteamentos aprovados pela prefeitura de São Carlos, com a respectiva data de aprovação, até o ano de 1993.

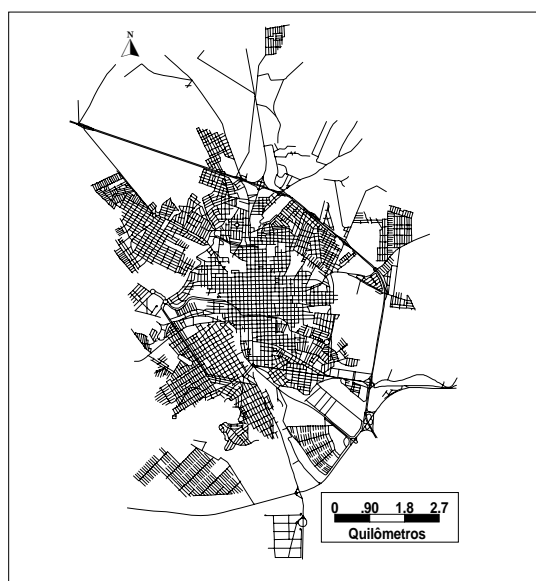


Figura 1 – Sistema Viário de São Carlos.

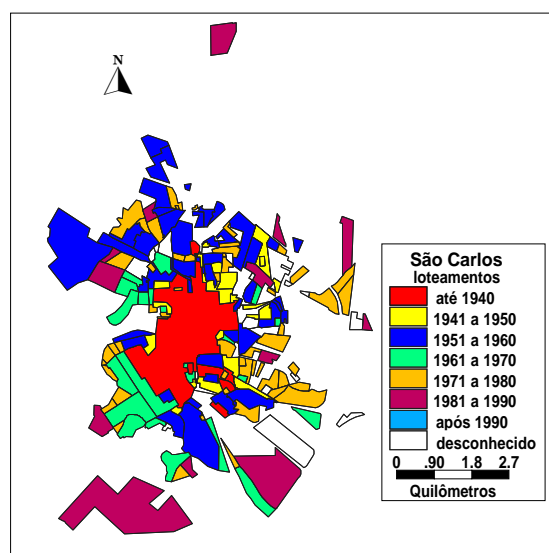


Figura 2 – Loteamentos de São Carlos.

Cruzando as informações do mapa de loteamentos com as do sistema viário, foi possível determinar a extensão da malha urbana de São

Carlos em diferentes instantes (1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1991 e 1996). Todo esse cálculo foi efetuado no SIG: primeiro eram selecionados, no mapa de loteamentos, todos aqueles aprovados até uma determinada data (1940, por exemplo). Os loteamentos cujas datas de aprovação não eram conhecidas não foram considerados nos cálculos. Em seguida, o mapa com os loteamentos selecionados era confrontado com o do sistema viário, para que fossem selecionadas as interseções até a data em questão. De posse dessas interseções, o programa calculou a distância de cada uma delas para todas as outras pelo seu algoritmo interno de busca de caminho mínimo, armazenando os resultados sob a forma de matriz. A partir daí foi calculado o Índice de Acessibilidade de Allen, efetuando a soma das N colunas da matriz das distâncias e dividindo o resultado final por $N-1$ pontos (para mais detalhes, ver RAIA JÚNIOR & SILVA, 1998). O processo foi repetido para todas as outras datas. A Tabela 1 mostra o número de interseções de São Carlos nos diversos instantes da evolução da cidade.

Tabela 1 – Número de Interseções em São Carlos.

| DATA | INTERSEÇÕES |
|------|-------------|
| 1940 | 528 |
| 1950 | 840 |
| 1960 | 2048 |
| 1970 | 2467 |
| 1980 | 2983 |
| 1991 | 3646 |
| 1996 | 4506 |

Os resultados permitiram construir mapas temáticos representando os níveis de acessibilidade de cada interseção, a partir da equação 10, para os diversos instantes da história de São Carlos, dispostos em 8 categorias. A Figura 3 mostra o crescimento da cidade, através dos mapas temáticos do Índice de Allen, de 1940 a 1996. Em cada um dos mapas observa-se também o contorno com a malha urbana atual.

Os valores das primeiras categorias de acessibilidade da Figura 3 correspondem às interseções cujas distâncias médias entre cada uma delas e as demais são as menores. Isto significa que as interseções que fazem parte destas categorias têm melhor acessibilidade que as demais e estão localizadas na região central. Por conseguinte, as interseções com valores de acessibilidade das últimas categorias são as que possuem pior nível de acessibilidade e estão localizadas na periferia da cidade.

4.1.2 Índice de Allen em Araraquara

Para o cálculo do Índice de Allen para Araraquara também foi necessária a digitalização, no SIG, do sistema viário da cidade. No mapa gerado (Figura 4), as ruas e avenidas são representadas pelo seu eixo e cada ponto inicial e final de cada um dos trechos corresponde a um nó (numa camada associada), que constituem as interseções, tal qual o mapa do sistema viário de São Carlos. Esse mapa foi também caracterizado como uma rede, para que o SIG pudesse calcular as distâncias de cada uma das interseções para todas as outras.

De posse do mapa do sistema viário e das interseções, o próximo passo foi determinar a extensão da malha urbana de Araraquara em diversos instantes da história da cidade. Isso foi feito da mesma maneira que para São Carlos e nas mesmas datas, para que se pudesse acompanhar melhor o processo de evolução urbana de Araraquara e para que comparações entre as duas cidades fossem possíveis. O mapa dos loteamentos de Araraquara (Figura 5) também foi digitalizado, contendo em seu banco de dados a data de aprovação de todos esses loteamentos década a década.

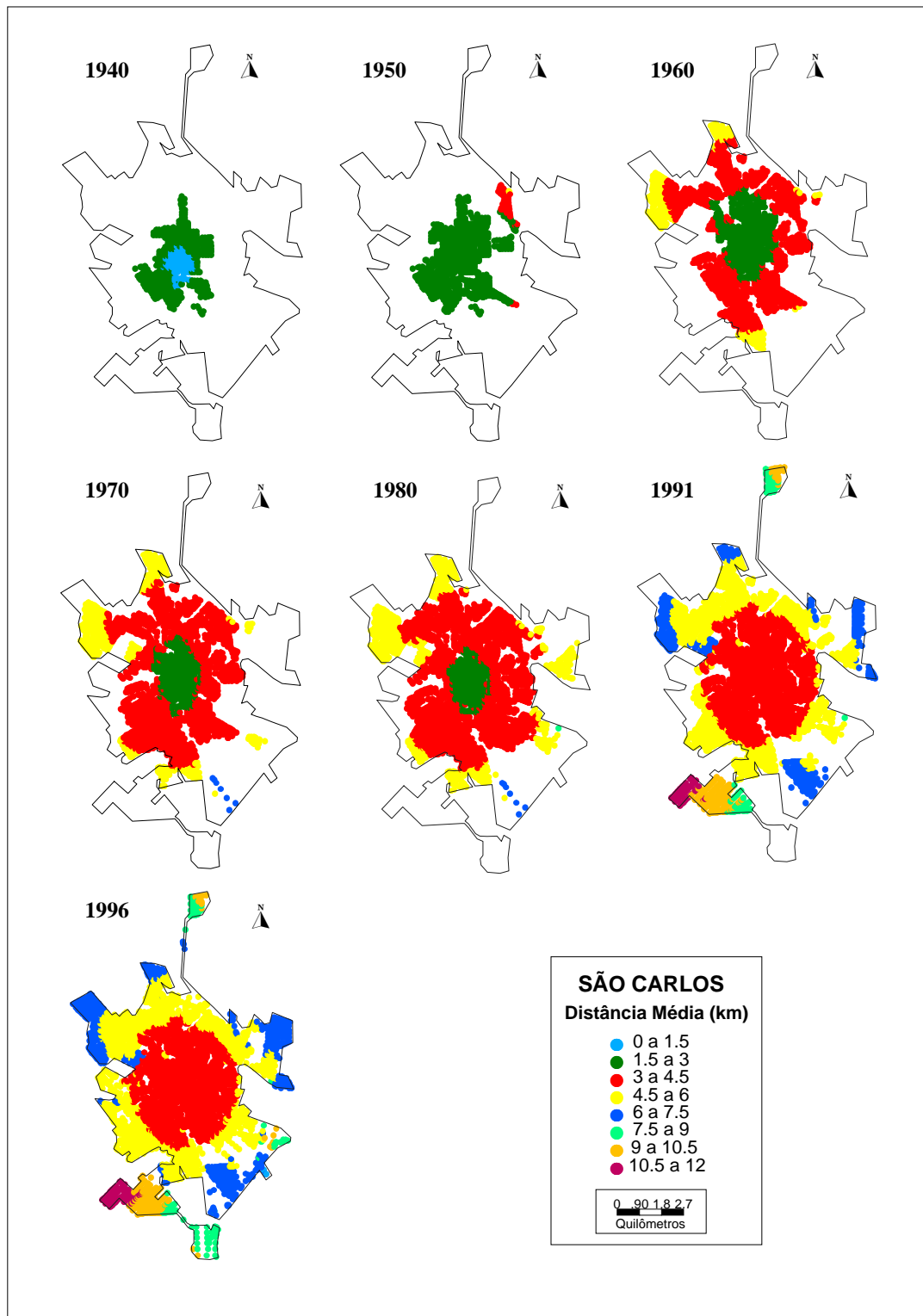


Figura 3 – Expansão Urbana de São Carlos.

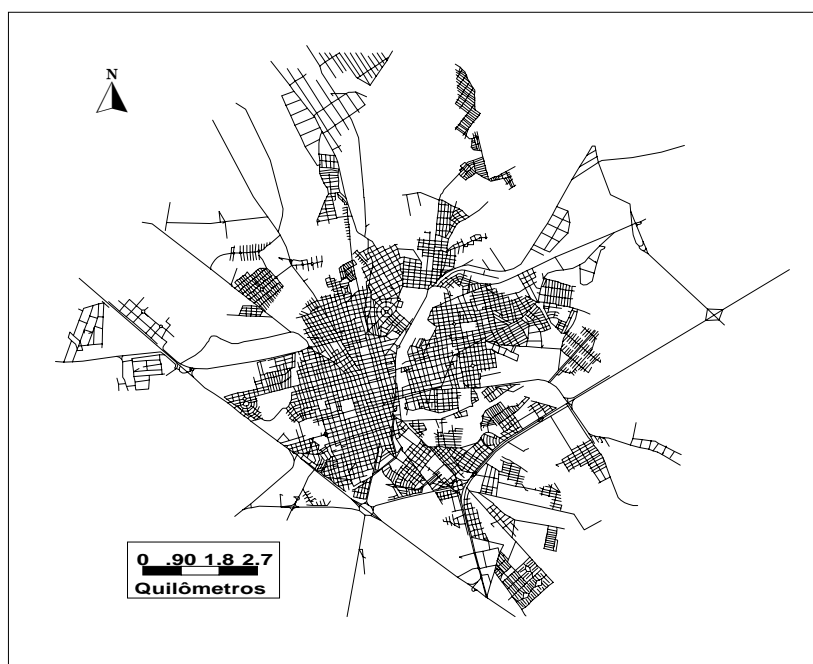


Figura 4 – Sistema viário de Araraquara.

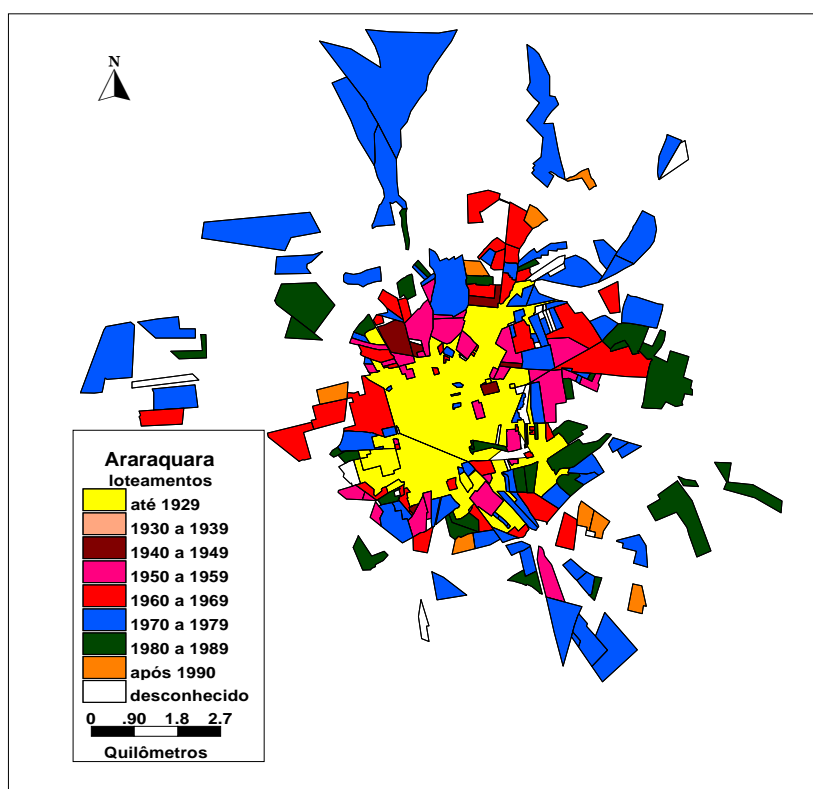


Figura 5 – Loteamentos de Araraquara.

A extensão da malha urbana de Araraquara nos diferentes instantes (1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1991 e 1996) foi determinada pelo

cruzamento das informações do mapa de loteamentos com as do sistema viário no SIG. Toda a metodologia utilizada pelo *software* foi a mesma para o cálculo em São Carlos, já descrita na subseção anterior. Novamente os loteamentos cujas datas de aprovação não eram conhecidas não foram considerados nos cálculos. A Tabela 2 mostra o número de interseções de Araraquara nos diversos instantes da evolução da cidade.

Tabela 2 – Número de Interseções em Araraquara.

| DATA | INTERSEÇÕES |
|------|-------------|
| 1940 | 1073 |
| 1950 | 1261 |
| 1960 | 1672 |
| 1970 | 2401 |
| 1980 | 4113 |
| 1991 | 4622 |
| 1996 | 4852 |

Com os resultados foram construídos os mapas temáticos que representam os níveis de acessibilidade de cada interseção, a partir da equação 10, para os diversos instantes da história de Araraquara, dispostos nas mesmas 8 categorias utilizadas nos mapas temáticos de São Carlos. A Figura 6 mostra a expansão urbana de Araraquara, através dos mapas temáticos do Índice de Allen, de 1940 a 1996. Em cada um dos mapas observa-se também o contorno com a malha urbana atual de Araraquara. Como já citado anteriormente, os valores das primeiras categorias de acessibilidade da Figura 6 correspondem às interseções cujas distâncias médias entre cada uma delas e as demais são as menores, possuindo melhores níveis de acessibilidade que as demais e localizando-se na região central. As interseções localizadas na periferia da cidade apresentam piores níveis de acessibilidade, representados pelos últimos valores da escala. Com isso, à primeira vista, os mapas da expansão urbana de São Carlos e Araraquara vão ao encontro da previsão inicial dos resultados.

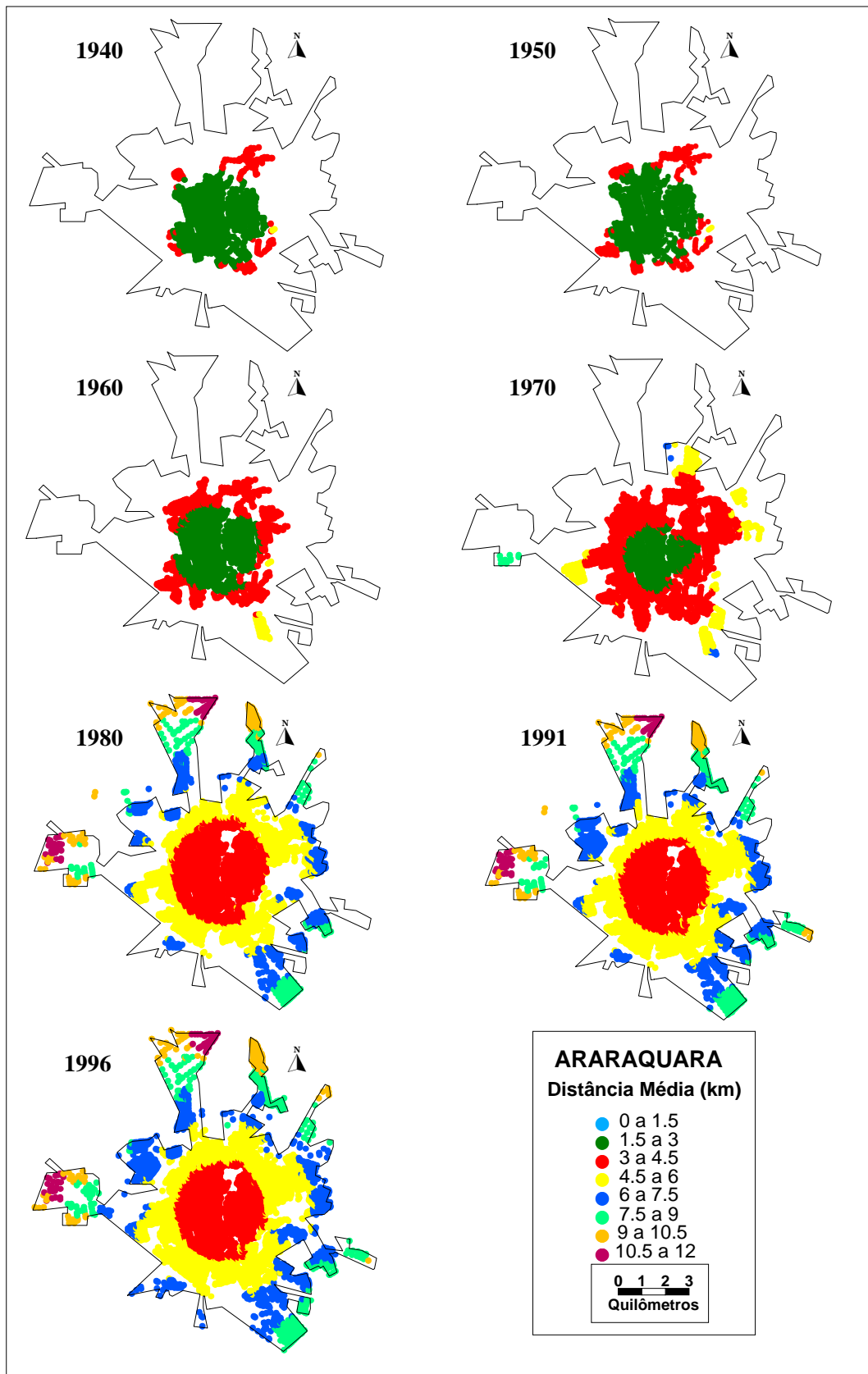


Figura 6 – Expansão Urbana de Araraquara.

4.1.3 Índice de Allen em Cidades Hipotéticas

O Índice de Allen tem se caracterizado principalmente pelo seu fácil manuseio e pela facilidade de cálculo. Por ser um índice do tipo separação espacial, criticado por alguns autores, optou-se por estudar o seu desempenho em cidades hipotéticas, com formas geométricas das mais diversas, para verificar a variação nos seus valores, uma vez que, neste caso, a forma da cidade tem uma grande influência sobre seus níveis de acessibilidade. Para isso, foram geradas 5 cidades hipotéticas, com diversas formas, para serem comparadas com as cidades de São Carlos e Araraquara.

Essas cidades hipotéticas foram geradas sob algumas condições, para que pudessem ser comparadas com São Carlos e Araraquara: a primeira delas era ter basicamente o mesmo número de interseções que as duas cidades. Nos mapas mais recentes disponíveis, São Carlos possui 4506 interseções, com os extremos atingindo cerca de 14 km na direção NS e cerca de 8 km na direção LO. Araraquara possui cerca de 4852 interseções, atingindo 14 km na direção NS e 16 km na direção LO. Em vista desses números, as cidades geradas sempre tinham cerca de 5000 interseções. A outra condição observada era que as cidades hipotéticas teriam quadras de 100 por 100 metros. Com essas duas condições, todas as cidades teriam uma área total de cerca de 50 km², basicamente o mesmo que São Carlos, cuja área da malha urbana é de 48,5 km² e razoavelmente menor que Araraquara, cuja área da malha urbana é de 77,5 km² (devido ao elevado percentual de vazios urbanos).


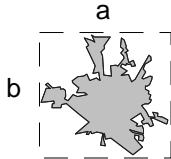
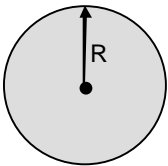
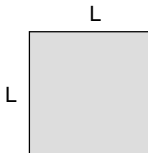
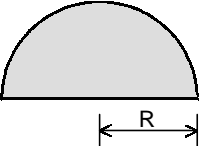
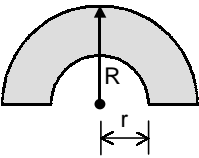

A Tabela 3 apresenta as cidades que foram geradas, bem como as cidades de São Carlos e Araraquara, com suas características geométricas e o respectivo número de interseções. A primeira a ser gerada foi a cidade em forma de círculo, que imagina-se ser a melhor condição teórica possível para a

acessibilidade de Allen, pois as interseções são agrupadas de maneira a ocupar o menor espaço físico possível. Em seguida, foram geradas outras cidades (quadrada, semicircular, e semi coroa circular, que será chamada simplesmente de “seção circular”) culminando com uma cidade retangular, com uma das dimensões bem maior que a outra, que é uma condição muito ruim para a acessibilidade, não só para o Índice de Allen como para qualquer outro índice de acessibilidade. Essa situação pode ser observada em cidades que apresentam algum limitante geográfico em uma das direções, como as cidades litorâneas, que são limitadas pelo mar em um dos lados e talvez por uma formação de serra no sentido oposto, forçando um crescimento longitudinal.

O Índice de Allen foi calculado para todas as cidades geradas, e os resultados são apresentados em mapas temáticos na Figura 7, junto com os resultados de São Carlos e Araraquara, já apresentados anteriormente. Uma rápida observação desses mapas mostra que São Carlos e Araraquara se aproximam mais do caso das cidades tipo circular, quadrada e semicircular, com valores de acessibilidade de Allen na região central de até 4,5 km. Como se imaginava, a cidade retangular se mostrou como situação mais crítica, com os menores valores de acessibilidade de Allen na faixa de 4,5 a 6 km. Uma outra característica é que, em todas as cidades geradas, eram poucas as interseções com valores de acessibilidade de Allen maiores que 9 km.

Não foi considerada aqui nenhuma variação no desenho do sistema viário, embora se imagine que este aspecto também tenha influência nos valores de acessibilidade de Allen (caso de um sistema viário radial, por exemplo), por ser este um elemento que quase não sofre variações nas cidades médias brasileiras.

Tabela 3 – Características das cidades.

| Cidade | Forma | Dimensões | Interseções |
|-------------------|---|---|-------------|
| 1. São Carlos |  | $a \cong 8 \text{ km}$ $b \cong 14 \text{ km}$ $A \cong 48,5 \text{ km}^2$ | 4506 |
| 2. Araraquara |  | $a \cong 16 \text{ km}$ $b \cong 14 \text{ km}$ $A \cong 77,5 \text{ km}^2$ | 4852 |
| 3. Circular |  | $R \cong 4 \text{ km}$ $A \cong 50 \text{ km}^2$ | 4981 |
| 4. Quadrada |  | $L \cong 7 \text{ km}$ $A \cong 50 \text{ km}^2$ | 4970 |
| 5. Semicircular |  | $R \cong 5,5 \text{ km}$ $A \cong 50 \text{ km}^2$ | 4940 |
| 6. Seção circular |  | $R \cong 6 \text{ km}$ $r \cong 2 \text{ km}$ $A \cong 50 \text{ km}^2$ | 5013 |
| 7. Retangular |  | $a \cong 3 \text{ km}$ $b \cong 16 \text{ km}$ $A \cong 50 \text{ km}^2$ | 4991 |

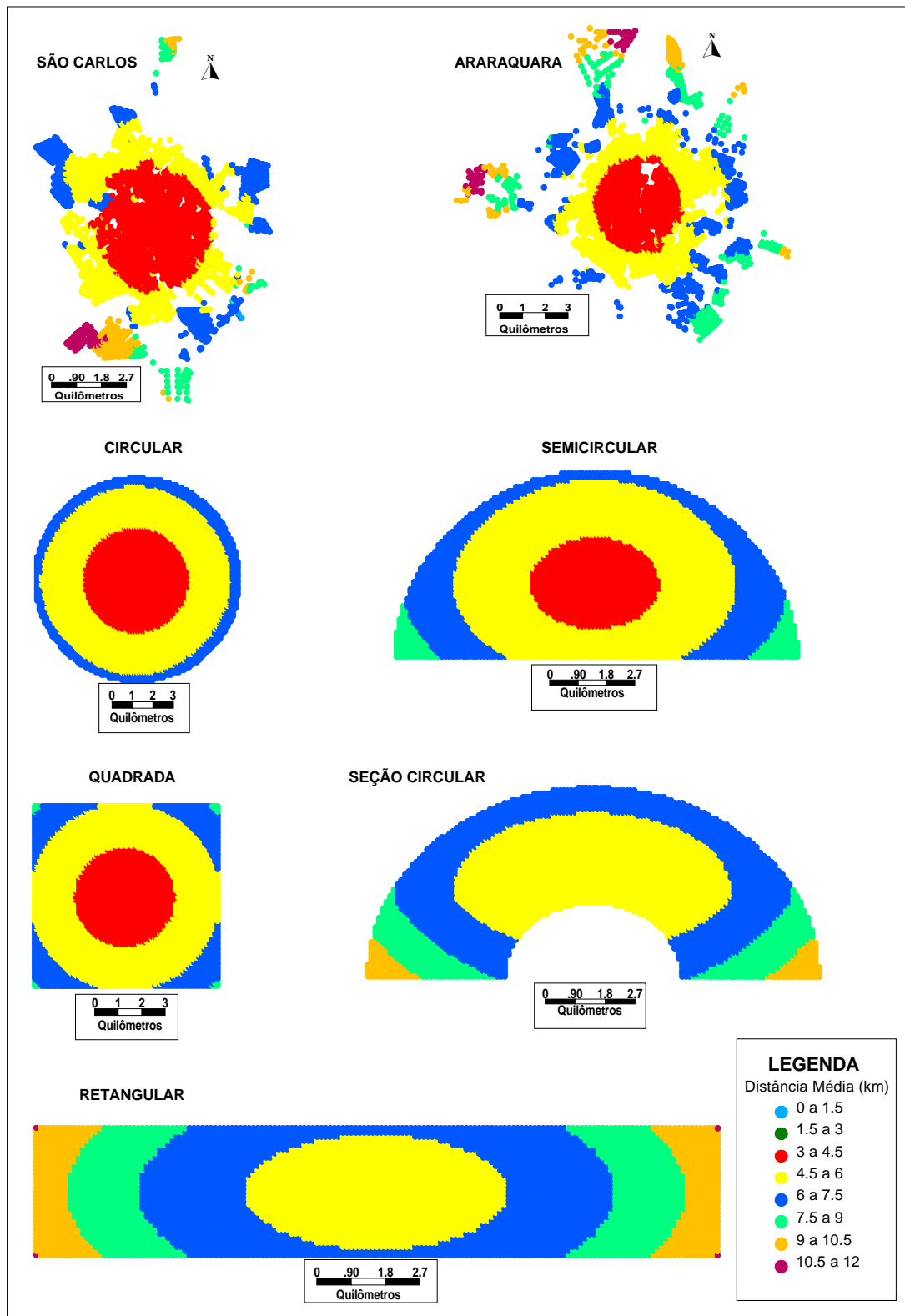


Figura 7 – Índice de Allen em São Carlos, Araraquara e nas Cidades Hipotéticas.

4.2 ÍNDICE DE DAVIDSON

Após o estudo do Índice de Acessibilidade de Allen, o próximo passo foi estudar o Índice de Davidson, um índice do tipo gravitacional, para as cidades de São Carlos e Araraquara, nos anos de 1980 e 1991 (datas dos dois últimos censos do IBGE). Neste trabalho foi considerada a densidade populacional como medida de atratividade das interseções j (determinadas a partir dos valores de densidade populacional dos setores censitários do IBGE, que será explicado a seguir), a distância através da rede viária como o custo percebido pelo viajante, e a função de impedância adotada para as duas cidades foi a mesma obtida por SILVA (1997b) para a cidade de Araraquara (uma vez que as duas cidades são de porte médio), ou seja, potência com o valor de α igual a 0,27:

$$A_i = \sum_j Dens_j \times (Dist_{ij})^{-\alpha} \quad (11)$$

Onde:

A_i = Acessibilidade da interseção i ;

$Dens_j$ = densidade populacional na interseção j ;

$Dist_{ij}$ = distância entre as interseções i e j , através do sistema viário;

α = expoente da função potência - neste caso 0,27.

Esta definição de acessibilidade reflete tanto o padrão de uso do solo, através da variável densidade, quanto a qualidade do sistema de transporte, através da variável distância entre os diversos locais. Uma vez que a acessibilidade, aqui, é uma somatória dos produtos de atividades pelo inverso da função custo para atingir cada local, atividades mais próximas tenderão a ser mais proeminentes que outras mais distantes. No entanto, em

princípio, qualquer alteração no transporte ou uso do solo refletirá em uma mudança na medida de acessibilidade de cada zona.

4.2.1 Índice de Davidson em São Carlos

No cálculo do Índice de Davidson para a cidade de São Carlos foi necessário obter a densidade populacional da cidade, em 1980 e 1991. Para isso, foram levantados os dados dos respectivos censos populacionais do IBGE para posterior incorporação ao banco de dados do SIG. O primeiro passo foi digitalizar os mapas com os setores censitários do IBGE de 1980 e 1991. Para cada setor censitário, era conhecida a população total que, dividida pela área do setor, fornecia o valor da densidade. As Figuras 8 e 9 apresentam os mapas temáticos da densidade populacional em São Carlos, em 1980 e 1991.

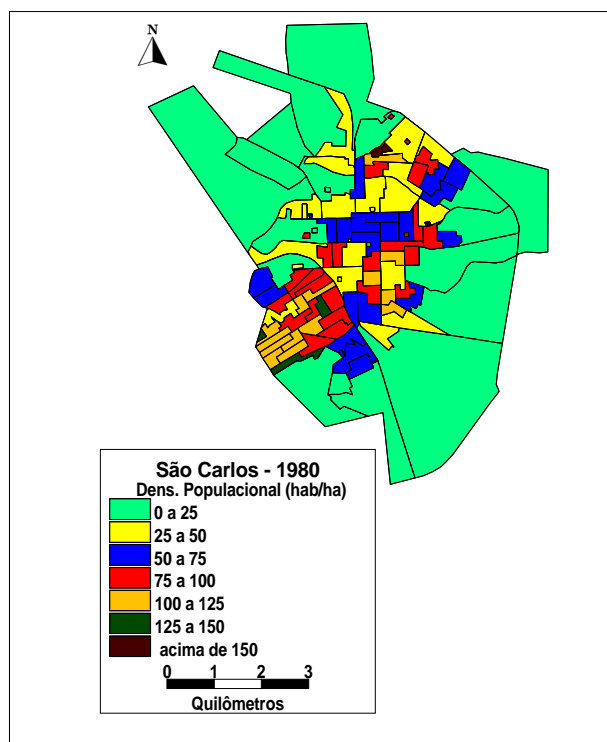


Figura 8 – Densidade Populacional em São Carlos, 1980.

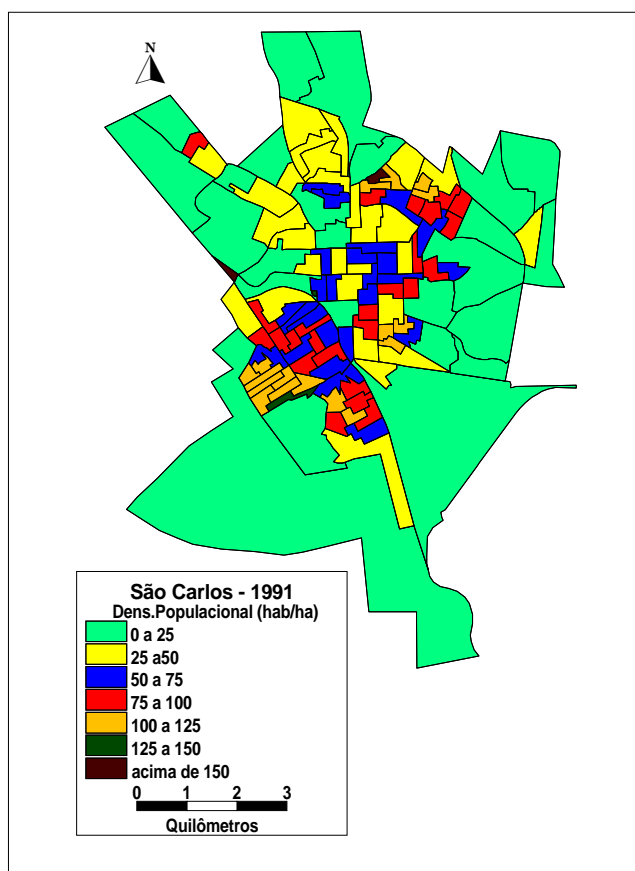


Figura 9 – Densidade Populacional em São Carlos, 1991.

A análise desses dados mostra o espalhamento urbano de São Carlos, com o maior adensamento se localizando na área central da cidade, um pouco deslocado para a região sudoeste da cidade, que corresponde à parte mais antiga da cidade (Vila Prado e adjacências).

Cruzando as informações do mapa de densidade populacional de 1980 com o mapa da malha urbana de São Carlos até 1980 (já determinado no cálculo da Acessibilidade de Allen) foi possível determinar o valor da densidade populacional em cada uma das interseções (o SIG associava a cada interseção o valor da densidade populacional do setor censitário correspondente). Para o cálculo da Acessibilidade de Davidson, segundo a equação 11, o valor da densidade foi transportado para uma matriz, no próprio SIG. Tendo-se as matrizes com os valores da densidade e a distância entre as interseções em 1980 e 1991 (já calculadas para a Acessibilidade de Allen),

pode-se, com o auxílio do SIG, proceder ao cálculo da Acessibilidade de Davidson. Para isso a matriz das distâncias entre as 2983 interseções de 1980 foi elevada a $-0,27$ (valor do expoente α da função potência), e depois multiplicada pela matriz com os valores da densidade. A matriz resultante teve suas colunas somadas, chegando aos valores da Acessibilidade de Davidson para as 2983 interseções de 1980.

O processo foi repetido para a determinação da densidade de cada interseção da cidade em 1991, agora com dados do censo daquele ano. Em seguida, procedeu-se novamente ao cálculo da Acessibilidade de Davidson para as 3646 interseções de 1991. Estes resultados permitiram construir o mapa temático da acessibilidade das interseções, para 1980 (Figura 10), e para 1991 (Figura 11), em 6 categorias. No entanto, a Acessibilidade de Davidson é apresentada em unidades de difícil interpretação, o que dificulta as comparações. Por isso, optou-se por apresentar os resultados também com os valores normalizados (a maior acessibilidade recebeu valor 100, a menor valor 0, e as intermediárias, valores proporcionais a essa escala), dispostos em 10 categorias. Esses valores normalizados, apresentados na Figura 12 para 1980 e na Figura 13 para 1991, permitem visualizar a distribuição de frequências.

Pode-se observar, nas Figuras que representam a Acessibilidade de Davidson, que a região central é sempre a que possui maior acessibilidade, tal como ocorreu com a medida de Allen. As regiões periféricas apresentam, ao contrário, piores níveis de acessibilidade. O aspecto geral dos mapas de Acessibilidade de Davidson é bem parecido com os de Allen, observando-se como diferença o deslocamento do “centro” das Acessibilidades de Davidson para a região sudoeste da cidade, onde há uma maior densidade populacional.

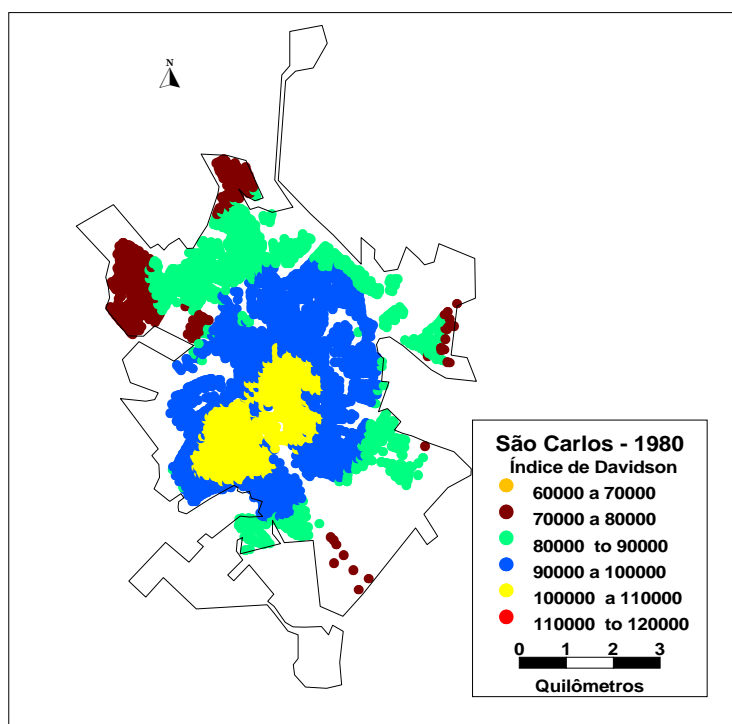


Figura 10 – Índice de Davidson em São Carlos, 1980.

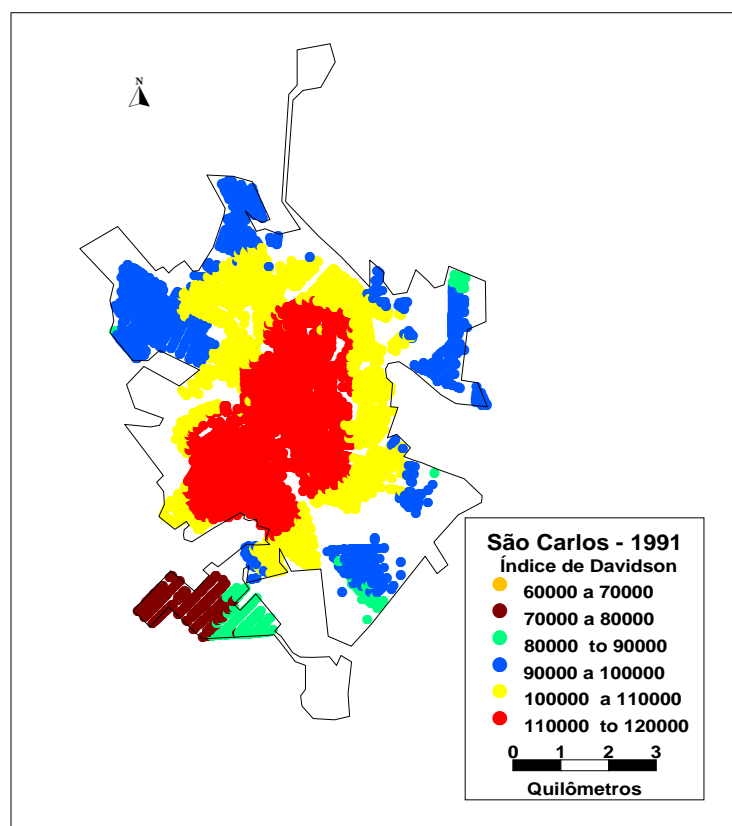


Figura 11 – Índice de Davidson em São Carlos, 1991.

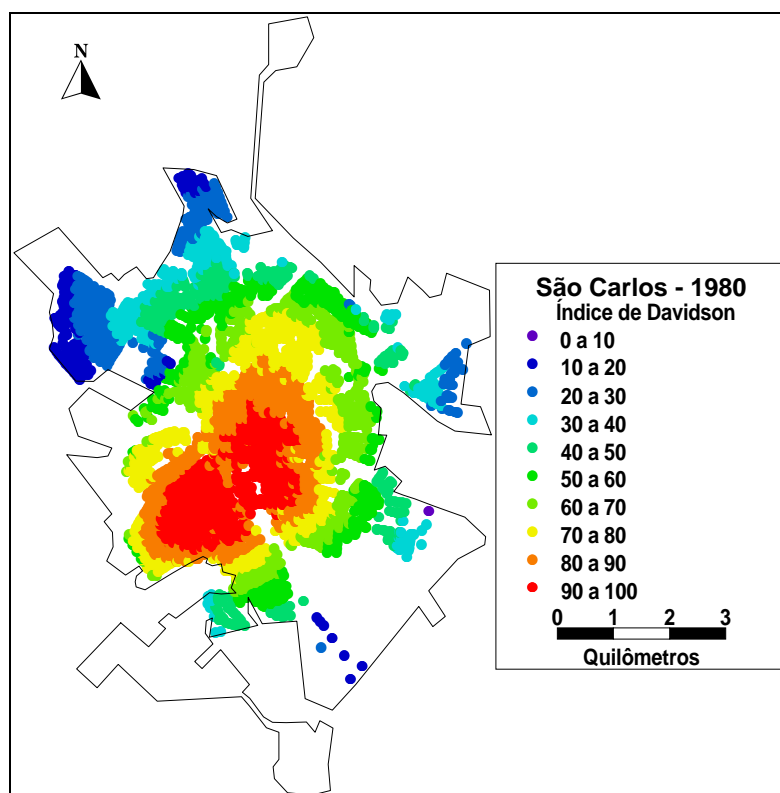


Figura 12 – Índice de Davidson em São Carlos, 1980 (normalizado).

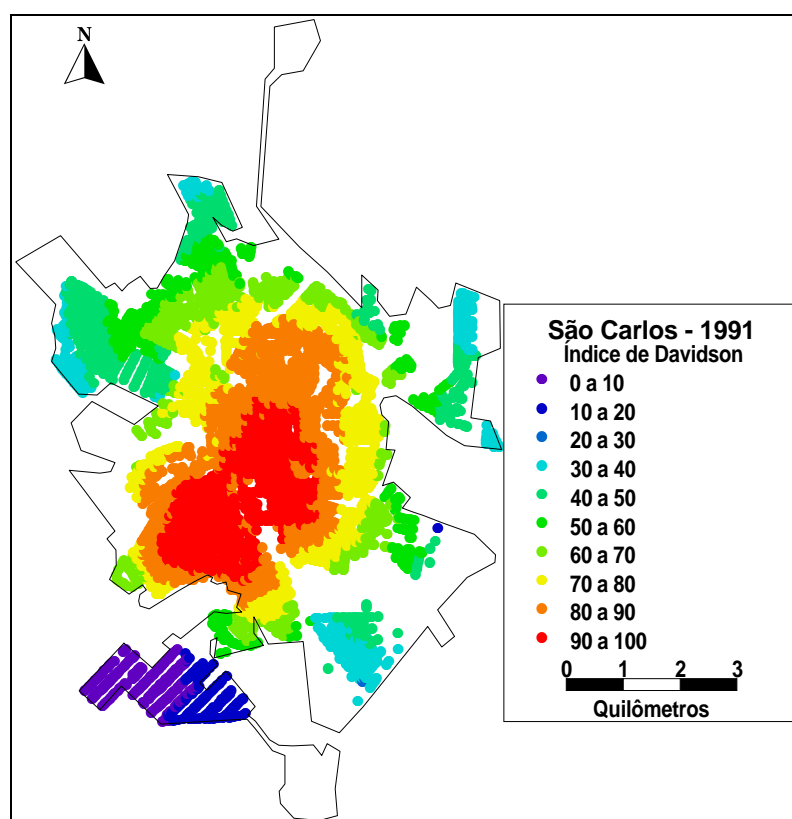


Figura 13 – Índice de Davidson em São Carlos, 1991 (normalizado).

4.2.2 Índice de Davidson em Araraquara

No cálculo do Índice de Davidson para a cidade de Araraquara também foi necessário obter a densidade populacional da cidade, em 1980 e 1991. Novamente a fonte dos dados foi o IBGE, fornecendo as informações dos respectivos censos populacionais para posterior incorporação ao banco de dados do SIG. Os mapas com os setores censitários dos censos de 1980 e 1991 foram digitalizados, para em seguida receber o valor da população total de cada setor que, dividida pela área do mesmo, fornecia o valor da densidade populacional. As Figuras 14 e 15 apresentam os mapas temáticos da densidade populacional em Araraquara, em 1980 e 1991.

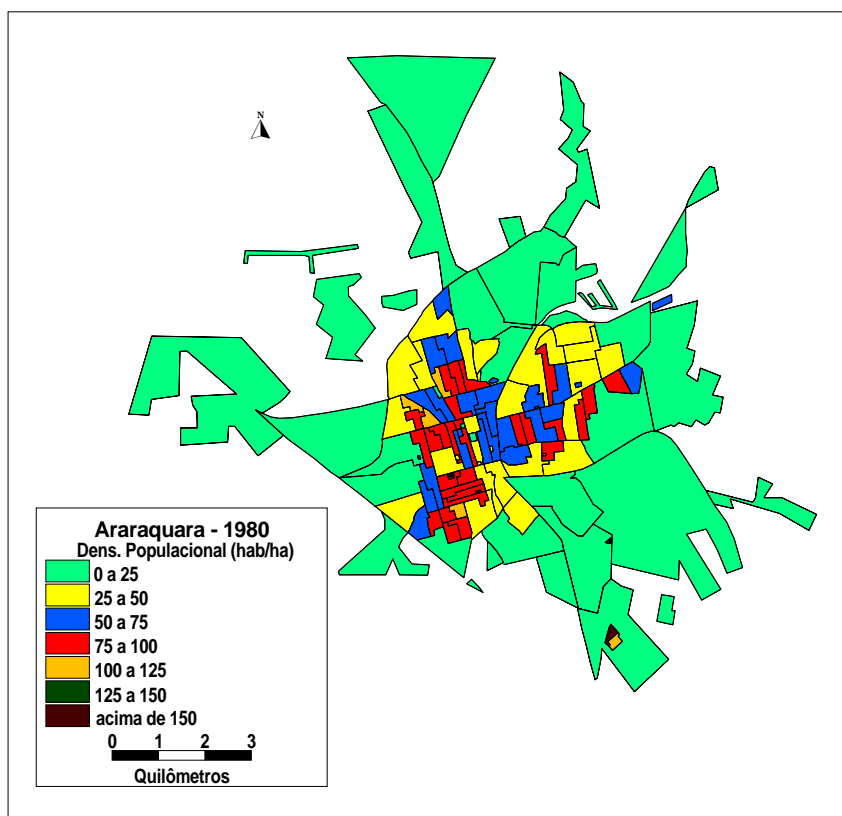


Figura 14 – Densidade Populacional em Araraquara, 1980.

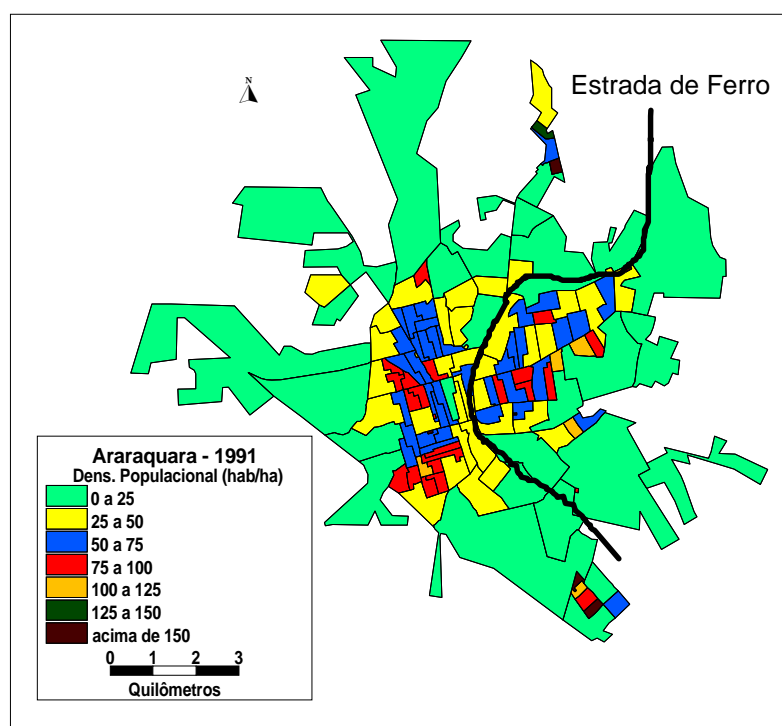


Figura 15 – Densidade Populacional em Araraquara, 1991.

Através dos mapas das Figuras 14 e 15 percebe-se o espalhamento urbano de Araraquara, com o maior adensamento se localizando na área central da cidade, separado pela estrada de ferro, que corta a cidade na direção sul-nordeste, como indicado na Figura 15. Percebe-se também, no mapa de 1991, grandes densidades em alguns bairros da periferia, como no Jardim Selmi Dey (norte) e no Bairro Tancredo Neves (sul). Como uma característica das cidades de um modo geral, a região intermediária apresenta médio adensamento e, a área periférica, muitas vezes distante da área central, um adensamento geralmente baixo. O mesmo padrão pode ser observado para a cidade de São Carlos.

Cruzando as informações do mapa de densidade populacional com o mapa da malha urbana de Araraquara, foi possível determinar o valor da densidade populacional em cada uma das interseções, seguindo a mesma metodologia utilizada com os dados de São Carlos, primeiro para 1980 e

depois para 1991. Os valores de densidade de cada interseção foram transportados para uma matriz no SIG, multiplicadas pela matriz das distâncias, já calculadas para a Acessibilidade de Allen (entre as 2401 interseções até 1980 e entre as 4622 até 1991), elevada a $-0,27$ (valor do expoente α da função potência). A matriz resultante teve suas colunas somadas, chegando aos valores da Acessibilidade de Davidson, em 1980 e em 1991.

Os resultados permitiram a construção dos mapas temáticos da Acessibilidade de Davidson para Araraquara, para 1980 (Figura 16), e para 1991 (Figura 17), nas mesmas 6 categorias utilizadas nos mapas temáticos de São Carlos. Novamente, pela dificuldade de interpretação das unidades, os resultados também são apresentados com os valores normalizados na Figura 18 (1980) e na Figura 19 (1991), dispostos em 10 categorias.

Pode-se observar, nas Figuras que representam a Acessibilidade de Davidson, que a região central é sempre a que possui maior acessibilidade, tal como ocorreu com a medida de Allen e tal como ocorreu em São Carlos. As regiões periféricas apresentam piores níveis de acessibilidade, sendo o aspecto geral dos mapas de Acessibilidade de Davidson novamente bem parecido com os de Allen.

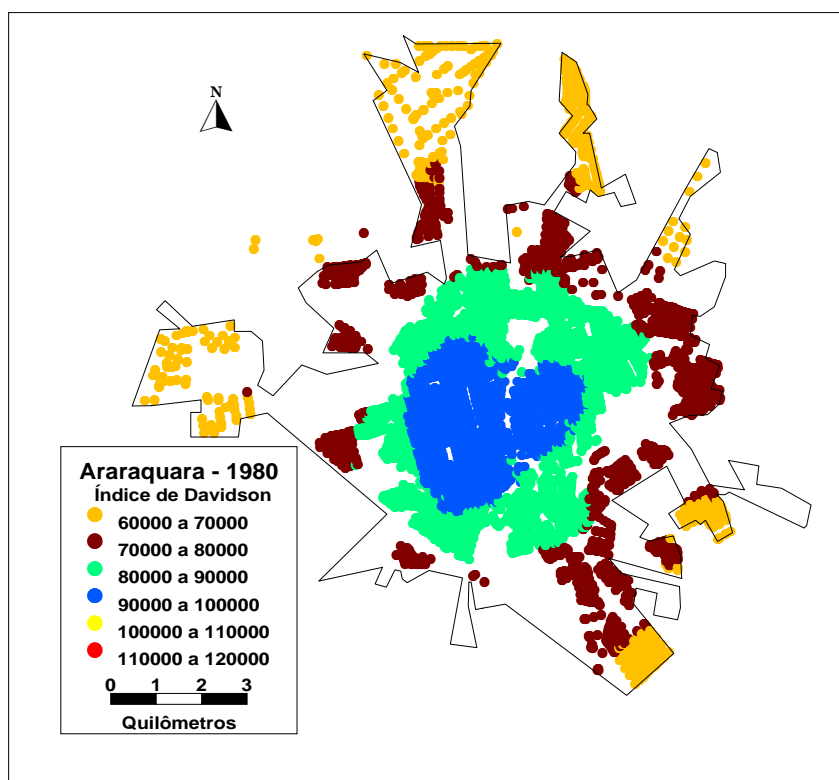


Figura 16 – Índice de Davidson em Araraquara, 1980.

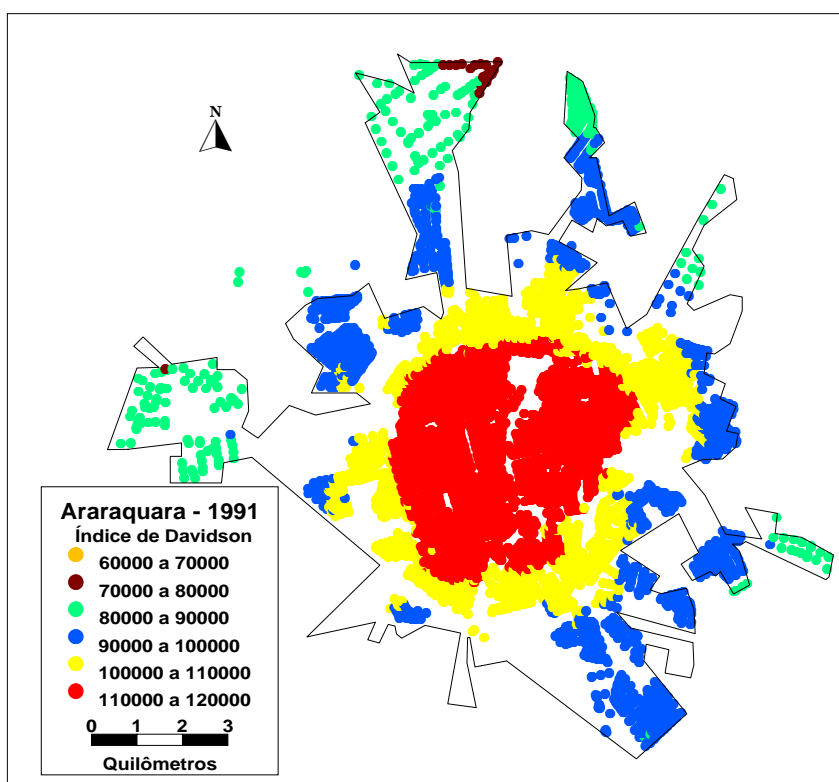


Figura 17 – Índice de Davidson em Araraquara, 1991.

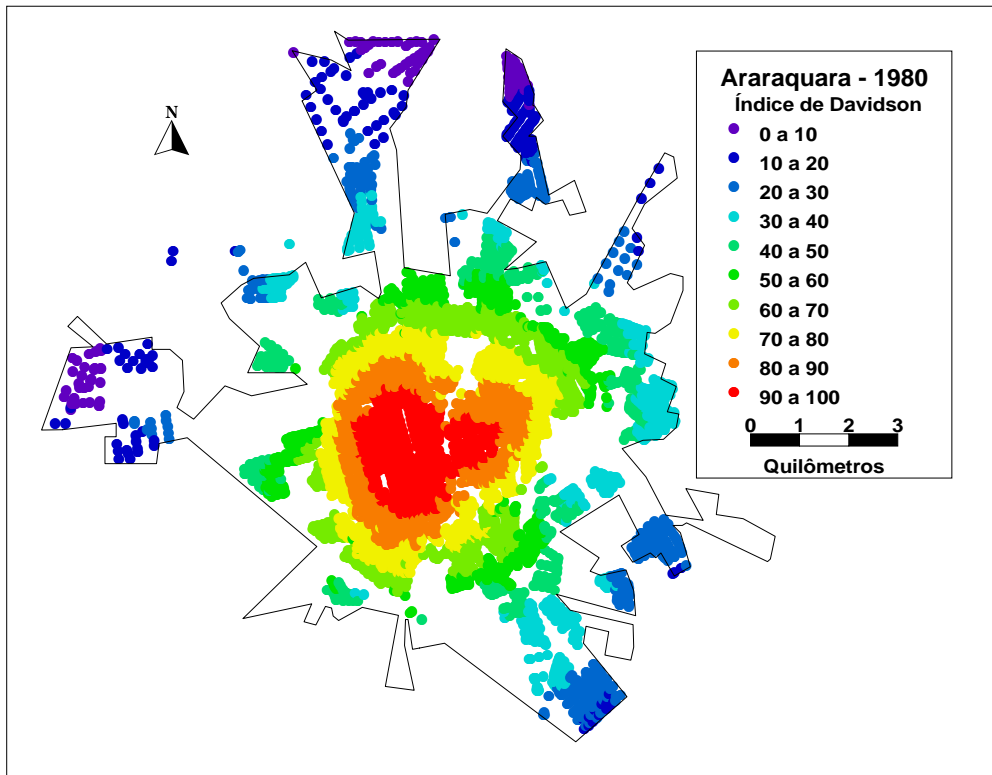


Figura 18 – Índice de Davidson em Araraquara, 1980 (normalizado).

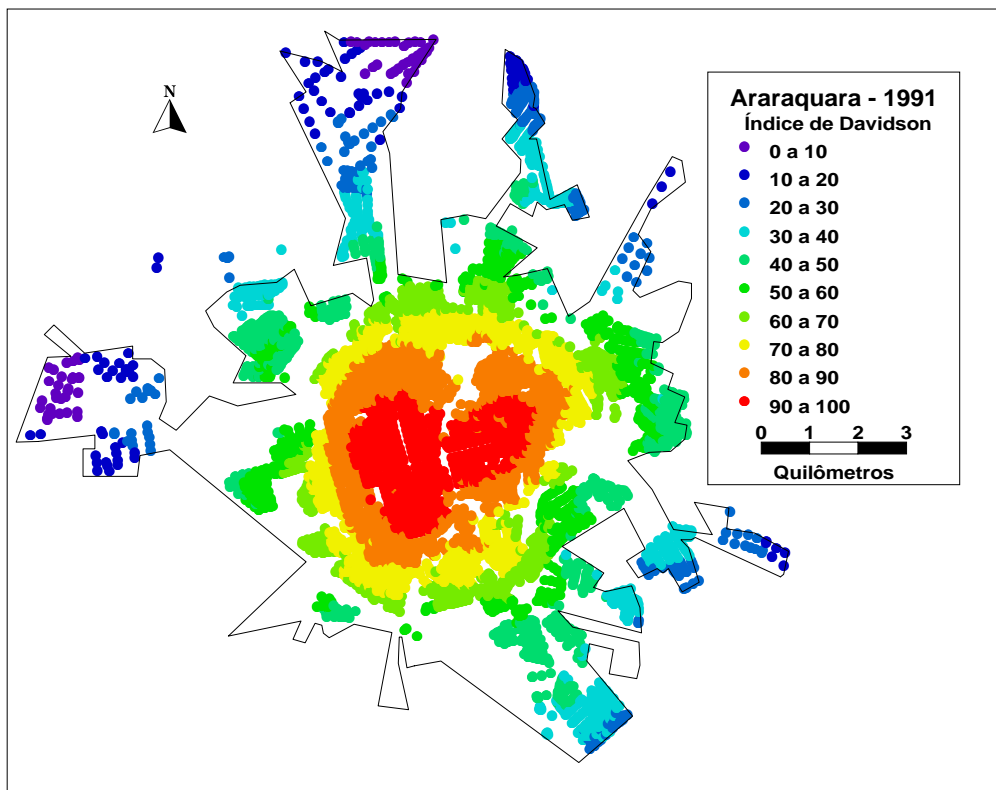


Figura 19 – Índice de Davidson em Araraquara, 1991 (normalizado).

4.2.3 Índice de Davidson em São Carlos em Relação aos Empregos

No cálculo do Índice de Davidson para São Carlos e Araraquara foi utilizada como medida de atratividade a densidade populacional, tanto para 1980 quanto para 1991. No entanto, esse tipo de variável pode não ser a mais indicada para a ponderação desse índice, uma vez que uma alta densidade populacional não significa necessariamente que uma determinada região seja mais ou menos atrativa. Outras variáveis poderiam representar melhor essa atratividade, como o número de empregos de cada região, por exemplo. Porém, esse tipo de variável é de difícil obtenção, uma vez que não existem órgãos específicos que levantem com confiabilidade o número de empregos das cidades de São Carlos e Araraquara. Adicionalmente, hoje em dia a economia informal emprega muitas pessoas, e esse tipo de emprego é de difícil levantamento.

Apesar disso, conseguiu-se obter uma variável alternativa, que representa a porcentagem de área construída com fins comerciais e industriais em relação à área construída total dos setores do censo do IBGE de 1991, para a cidade de São Carlos. Portanto, resolveu-se adicionalmente calcular o Índice de Davidson em São Carlos em 1991 usando como medida de atratividade essa porcentagem de áreas comercial e industrial, imaginando-se que essa variável representaria de alguma maneira o número de empregos de cada setor censitário de São Carlos em 1991.

Os valores da porcentagem de área comercial e industrial em relação à área construída total de cada setor censitário foram incorporados ao banco de dados referente ao censo do IBGE de São Carlos em 1991. A Figura 20 mostra um mapa temático dessa porcentagem de áreas com fins comerciais e industriais. Nela se percebe um agrupamento das atividades comerciais e

industriais na região central e também em algumas regiões da periferia, principalmente na parte norte da cidade.

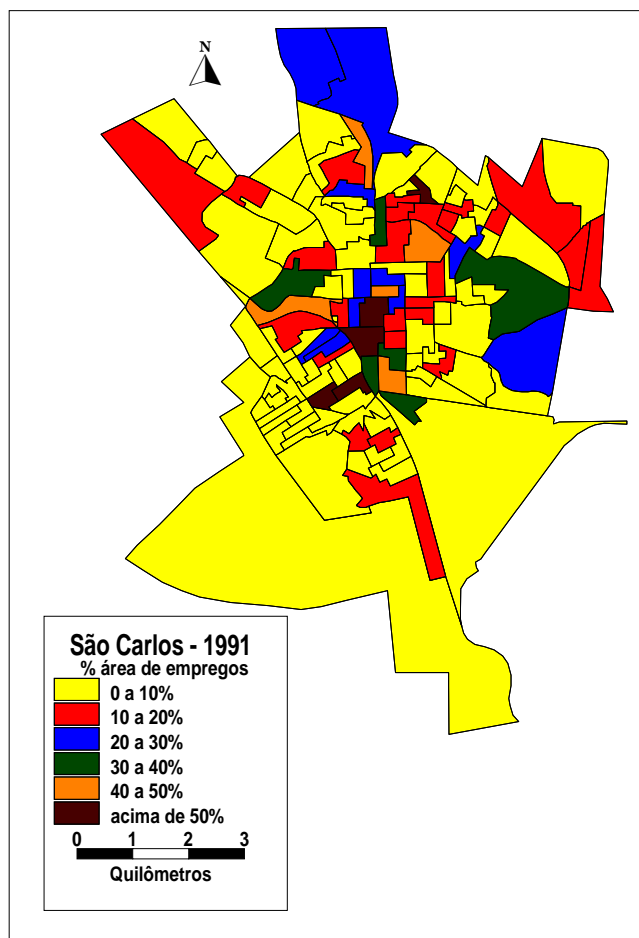


Figura 20 – Porcentagem de Área Construída Comercial e Industrial, em Relação à Área Construída Total.

A metodologia para o cálculo da Acessibilidade de Davidson foi a mesma utilizada anteriormente, apenas substituindo os valores de densidade pela porcentagem de áreas comerciais e industriais. Os resultados são apresentados no mapa temático da Figura 21, mostrados apenas do modo normalizado, uma vez que as unidades da Acessibilidade de Davidson não têm, por si só, nenhum sentido físico que se possa associar a uma referência conhecida.

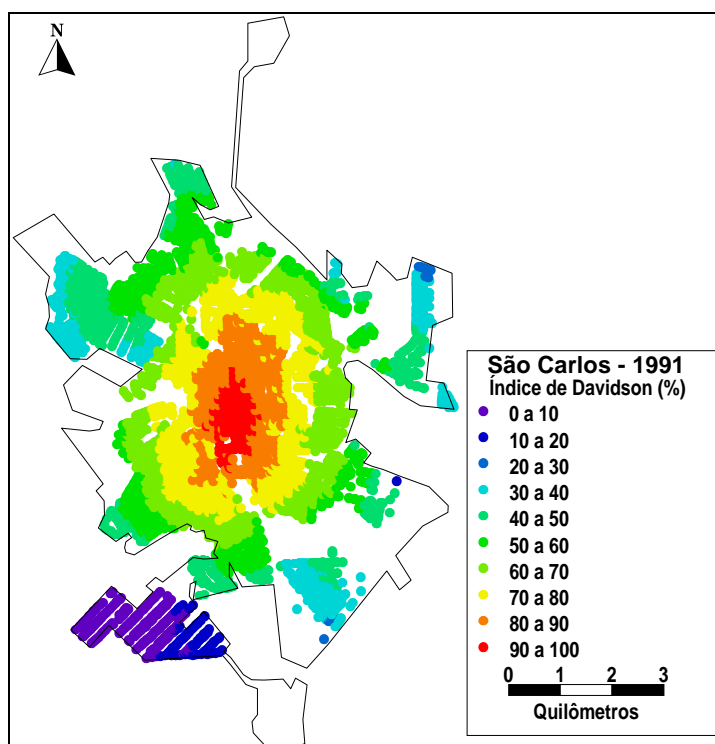


Figura 21 – Índice de Davidson em São Carlos, 1991, Ponderado pela Área Construída Comercial e Industrial em Relação à Área Construída Total.

A mapa da Figura 21 apresenta o aspecto geral bem parecido com os outros mapas da Acessibilidade de Davidson, com os maiores valores no centro e os menores na periferia. A princípio, os intervalos com valores maiores de acessibilidade (vermelho e laranja) apresentam um menor número de interseções do que o mapa ponderado pela densidade populacional (Figura 13). O mapa ponderado pelos empregos também não apresenta mais o centro deslocado para a região sudeste, possivelmente devido ao fato de não haver ali uma concentração bem definida das atividades comerciais e industriais.

Com isso, foi terminada a etapa de levantamento dos dados. No próximo capítulo, será feito a análise e interpretação dos dados.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a etapa de levantamento dos dados e cálculo dos índices de Acessibilidade de Allen e Davidson, foi realizada a análise dos resultados obtidos, apresentada nesse capítulo primeiro para a Acessibilidade de Allen e em seguida para a de Davidson. No final do capítulo são feitas algumas considerações sobre a relação entre as acessibilidades e a oferta de transporte público, a partir do exemplo de Araraquara.

5.1 ÍNDICE DE ALLEN

O Índice de Allen é a distância média de uma interseção do sistema viário das cidades (neste caso, de São Carlos e Araraquara) para todos os outros. Portanto, quanto menor for o valor numérico desse índice, maior será a acessibilidade da respectiva interseção e, por conseguinte, da cidade como um todo, através do Índice de Acessibilidade Global E. Assim, um maior número de interseções nas menores faixas de valores representa uma

maior acessibilidade para a cidade. Serão vistos agora os resultados para as cidades de São Carlos e Araraquara em separado.

5.1.1 Índice de Allen em São Carlos

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para a Acessibilidade de Allen em São Carlos. Nele, aparecem o número de interseções em cada categoria, bem como a porcentagem em relação ao número total de interseções. Além disso, são também apresentados o valor mínimo, o máximo e o Índice de Acessibilidade Global E, que como explicado no capítulo 3, representa a média das distâncias médias. Todos esses valores são apresentados para os diferentes momentos em que a Acessibilidade de Allen foi calculada. São apresentados ainda os valores do Índice E para cidades circulares com os mesmos números de interseções de cada caso, para servirem de referência, uma vez que foi aqui admitido que estas cidades representam a melhor condição possível para a Acessibilidade de Allen

Na Tabela 4 nota-se como a distância média entre todos os pontos vêm aumentando com o passar dos anos, o que significa que a acessibilidade de São Carlos piorou com o tempo. Por exemplo, até 1940, cerca de 24% das interseções da cidade apresentavam valores de distância média para todas as outras interseções na faixa que vai até 1,5 km, enquanto os outros 76% ficavam na faixa que vai até 3 km. A interseção com pior acessibilidade apresentava distância média de 2,94 km. O raciocínio é o mesmo para todos os outros valores da Tabela 4 em todas as outras datas, mostrando sempre uma diminuição no número de interseções nas primeiras categorias de valores e, por conseguinte, um aumento nas interseções das categorias mais altas. Em 1996, por exemplo, cerca de 34% das interseções

estavam na faixa de 3 a 4,5 km, 42% na de 4,5 a 6 km, 15% de 6 a 7,5 km, 2,5% de 7,5 a 9 km, 4% de 9 a 10,5 km e 2% de 10,5 a 12 km.

Tabela 4 – Resultados para a Acessibilidade de Allen em São Carlos.

| categorias (km) | Até 1940 | | Até 1950 | | Até 1960 | | Até 1970 | |
|-----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| | interseções | % | interseções | % | interseções | % | interseções | % |
| 0 a 1,5 | 125 | 23,67 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 1,5 a 3,0 | 403 | 76,33 | 783 | 93,21 | 536 | 26,17 | 370 | 15,00 |
| 3,0 a 4,5 | 0 | 0,00 | 55 | 6,55 | 1274 | 62,21 | 1668 | 67,61 |
| 4,5 a 6,0 | 0 | 0,00 | 2 | 0,24 | 238 | 11,62 | 422 | 17,11 |
| 6,0 a 7,5 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 7 | 0,28 |
| 7,5 a 9,0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 9,0 a 10,5 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 10,5 a 12,0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| total | 528 | 100,00 | 840 | 100,00 | 2048 | 100,00 | 2467 | 100,00 |
| mínimo (km) | 1,27 | | 1,63 | | 2,46 | | 2,64 | |
| máximo (km) | 2,94 | | 4,56 | | 5,40 | | 6,81 | |
| índice E (km) | 1,79 | | 2,27 | | 3,54 | | 3,78 | |
| E Circular(km) | 1,66 | | 2,10 | | 3,28 | | 3,59 | |

| categorias (km) | Até 1980 | | Até 1991 | | Até 1996 | |
|-----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| | interseções | % | interseções | % | interseções | % |
| 0 a 1,5 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 1,5 a 3,0 | 278 | 9,32 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 3,0 a 4,5 | 2080 | 69,73 | 1612 | 44,21 | 1517 | 33,67 |
| 4,5 a 6,0 | 617 | 20,68 | 1316 | 36,09 | 1912 | 42,43 |
| 6,0 a 7,5 | 7 | 0,23 | 388 | 10,64 | 689 | 15,29 |
| 7,5 a 9,0 | 1 | 0,03 | 85 | 2,33 | 110 | 2,44 |
| 9,0 a 10,5 | 0 | 0,00 | 179 | 4,91 | 185 | 4,11 |
| 10,5 a 12,0 | 0 | 0,00 | 66 | 1,81 | 93 | 2,06 |
| total | 2983 | 100,00 | 3646 | 100,00 | 4506 | 100,00 |
| mínimo (km) | 2,73 | | 3,41 | | 3,56 | |
| máximo (km) | 7,83 | | 11,47 | | 11,82 | |
| índice E (km) | 3,91 | | 5,18 | | 5,39 | |
| E circular (km) | 3,95 | | 4,37 | | 4,86 | |

A Figura 22 apresenta o gráfico com essa distribuição percentual de acessibilidade nas diversas épocas da história de São Carlos apresentada na Tabela 4. Os valores em azul representam os resultados obtidos para 1940, com 24% dos valores na categoria de até 1,5 km e 76% na categoria de 1,5 a 3 km. Em 1950 (valores em amarelo) já se percebe uma significativa mudança, pois 93% dos valores se concentram na categoria de 1,5 a 3 km e 7% nas duas categorias seguintes (principalmente na faixa de 3 a 4,5 km). A tendência continua para as outras datas, com os valores sempre se distribuindo entre as faixas mais altas de distâncias, como pode ser facilmente observado numa rápida análise no gráfico da Figura 22.

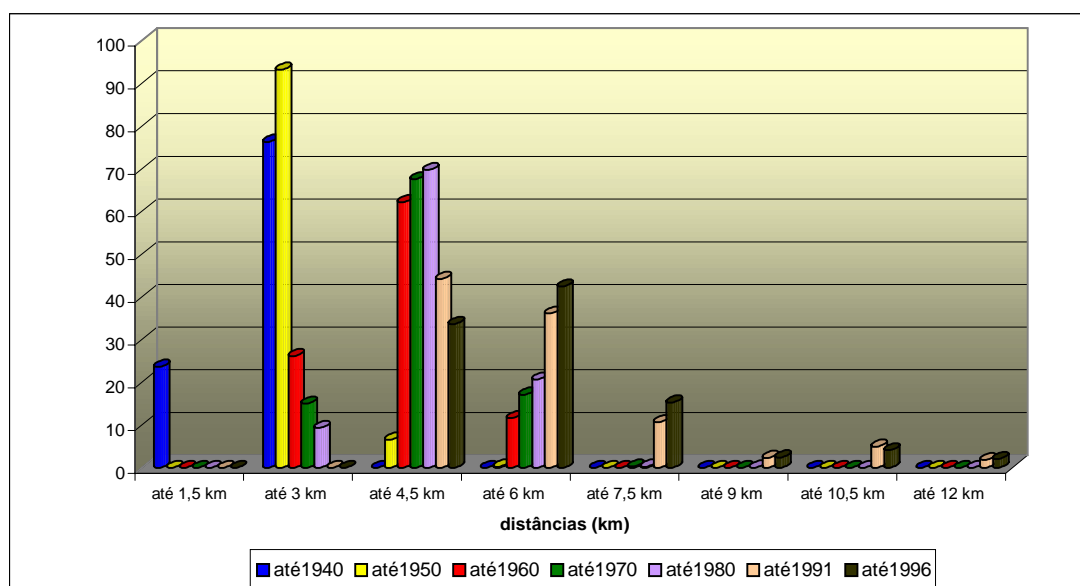


Figura 22 - Distribuição de Frequências da Acessibilidade de Allen em São Carlos.

Além da distribuição de frequências, uma outra análise interessante é a do Índice de Acessibilidade Global E. A Figura 23 apresenta a evolução desse índice ao longo do tempo para a cidade de São Carlos e para as cidades circulares com o mesmo número de interseções, enquanto a Figura 24 mostra o crescimento percentual do Índice de São Carlos entre cada uma das datas analisadas.

Os gráficos das Figuras 23 e 24 mostram a expansão urbana da cidade de São Carlos. Percebe-se que a cidade teve um forte crescimento nas décadas de 40, 50 e 80, quando o Índice E apresenta os maiores níveis de crescimento (27%, 56% e 32%, respectivamente), saltando de 1,79 km em 1940 para 3,54 km em 1960 e 5,18 km em 1991. Nas outras épocas o crescimento foi menor, sempre abaixo de 10%. Em 1980, o Índice E estava até mesmo abaixo do Índice das cidades circulares (5,91 km para São Carlos e 5,95 km para a Circular), talvez pelo fato da maioria das quadras da cidade serem menores do que 100 metros de largura por 100 metros de comprimento.

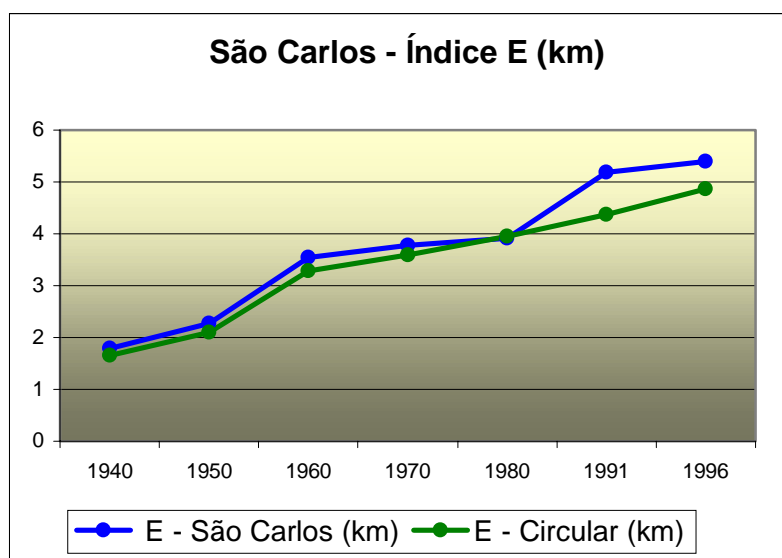


Figura 23 – Evolução do Índice de Acessibilidade Global E em São Carlos e em Cidades Circulares.

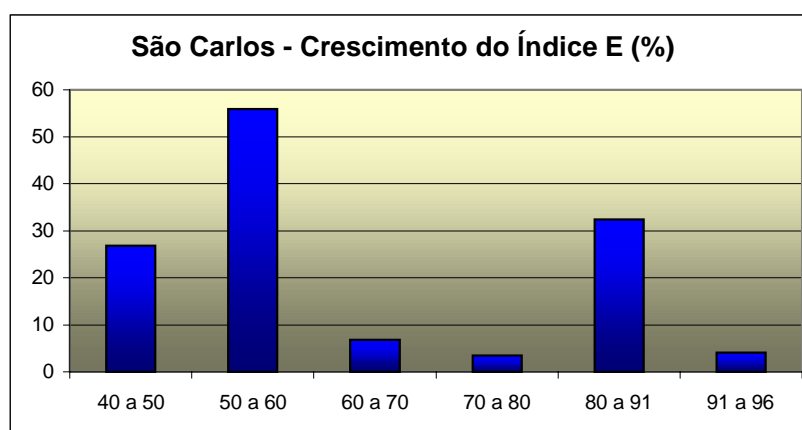


Figura 24 – Crescimento Percentual do Índice E em São Carlos.

A análise global dos gráficos e tabelas apresentados para a cidade de São Carlos mostra o crescimento do Índice de Acessibilidade de Allen para a cidade, o que significa numa diminuição da acessibilidade, com os valores mais elevados saltando de cerca de 3 km na década de 40 para quase 12 km em 1996. O Índice de Acessibilidade Global passou de 1,79 km em 1940 para 5,39 km em 1996, um crescimento de 300 % em 56 anos. Esses números confirmam a hipótese inicial de que a expansão urbana desordenada diminui os níveis de acessibilidade intra-urbana, aqui representada pelo

aumento das distâncias médias. Em seguida pode-se ver o comportamento do índice na cidade de Araraquara.

5.1.2 Índice de Allen em Araraquara

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para a Acessibilidade de Allen em Araraquara. Nele, tal como no caso de São Carlos, aparecem o número de interseções em cada categoria bem como a porcentagem em relação ao número total de interseções. Além disso, são também apresentados o valor mínimo, o máximo, o Índice de Acessibilidade Global E para Araraquara e o respectivo valor para a cidade circular. Todos esses valores são apresentados para os diferentes momentos em que a Acessibilidade de Allen foi calculada.

Tabela 5 – Resultados para a Acessibilidade de Allen em Araraquara.

| categorias (km) | Até 1940 | | Até 1950 | | Até 1960 | | Até 1970 | |
|-----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| | interseções | % | interseções | % | interseções | % | interseções | % |
| 0 a 1,5 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 1,5 a 3,0 | 910 | 84,81 | 969 | 76,84 | 944 | 56,46 | 527 | 21,95 |
| 3,0 a 4,5 | 163 | 15,19 | 287 | 22,76 | 686 | 41,03 | 1603 | 66,76 |
| 4,5 a 6,0 | 0 | 0,00 | 5 | 0,40 | 42 | 2,51 | 251 | 10,45 |
| 6,0 a 7,5 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 9 | 0,37 |
| 7,5 a 9,0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 11 | 0,46 |
| 9,0 a 10,5 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 10,5 a 12,0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| total | 1073 | 100,00 | 1261 | 100,00 | 1672 | 100,00 | 2401 | 100,00 |
| mínimo (km) | 1,71 | | 1,85 | | 2,07 | | 2,47 | |
| máximo (km) | 4,60 | | 4,80 | | 5,78 | | 8,60 | |
| índice E (km) | 2,48 | | 2,65 | | 2,99 | | 3,60 | |
| E circular (km) | 2,37 | | 2,57 | | 2,96 | | 3,55 | |

| categorias (km) | Até 1980 | | Até 1991 | | Até 1996 | |
|-----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| | interseções | % | interseções | % | interseções | % |
| 0 a 1,5 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 1,5 a 3,0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 3,0 a 4,5 | 1495 | 36,35 | 1354 | 29,29 | 1271 | 26,20 |
| 4,5 a 6,0 | 1602 | 38,95 | 1892 | 40,93 | 2040 | 42,04 |
| 6,0 a 7,5 | 561 | 13,64 | 837 | 18,11 | 953 | 19,64 |
| 7,5 a 9,0 | 285 | 6,93 | 361 | 7,81 | 399 | 8,22 |
| 9,0 a 10,5 | 119 | 2,89 | 126 | 2,73 | 135 | 2,78 |
| 10,5 a 12,0 | 51 | 1,24 | 52 | 1,13 | 54 | 1,11 |
| total | 4113 | 100,00 | 4622 | 100,00 | 4852 | 100,00 |
| mínimo (km) | 3,55 | | 3,67 | | 3,72 | |
| máximo (km) | 11,80 | | 11,90 | | 11,97 | |
| índice E (km) | 5,38 | | 5,54 | | 5,62 | |
| E circular (km) | 4,64 | | 4,92 | | 5,04 | |

Na Tabela 5 nota-se o mesmo comportamento observado para São Carlos: a distância média entre todos os pontos vêm aumentando com o passar dos anos, ou seja, a Acessibilidade de Araraquara piorou com o tempo. Em Araraquara observa-se uma situação ainda mais negativa, pois desde 1940 os valores de distância média já eram maiores do que em São Carlos: até 1940, cerca de 15% das interseções da cidade apresentavam valores de distância média para todas as outras interseções na faixa que vai de 1,5 a 3 km, enquanto os outros 85% ficavam na faixa que vai até 4,5 km. Já nessa época não havia valores de Acessibilidade de Allen na faixa que vai até 1,5 km. A interseção com melhor acessibilidade apresentava distância média de 1,71 km, e a pior 2,48 km.

O raciocínio é o mesmo para todos os outros valores da Tabela 5 em todas as outras datas, mostrando sempre uma diminuição no número de interseções nas primeiras categorias de valores e, por conseguinte, um aumento nas interseções das categorias mais altas. Em 1996, cerca de 26% das interseções estavam na faixa de 3 a 4,5 km, 42% na de 4,5 a 6 km, 20% de 6 a 7,5 km, 8% de 7,5 a 9 km, 3% de 9 a 10,5 km e 1% de 10,5 a 12 km.

A Figura 25 apresenta o gráfico com a distribuição percentual de acessibilidade nas diversas épocas da história de Araraquara apresentada na Tabela 5. Os valores em azul representam os resultados obtidos para 1940, com 15% dos valores na categoria de 1,5 até 3 km e 85% na categoria de 3 a 4,5 km. Em 1950 (valores em amarelo) já se percebe um aumento na faixa que vai de 3 a 4,5 km, com 23% (aumento de 8%) das interseções contra 77% na categoria de 1,5 a 3 km. A tendência continua para as outras datas, com os valores sempre passando a se concentrar nas faixas mais altas de distâncias com o passar dos anos, como pode ser facilmente observado numa rápida análise no gráfico da Figura 25.

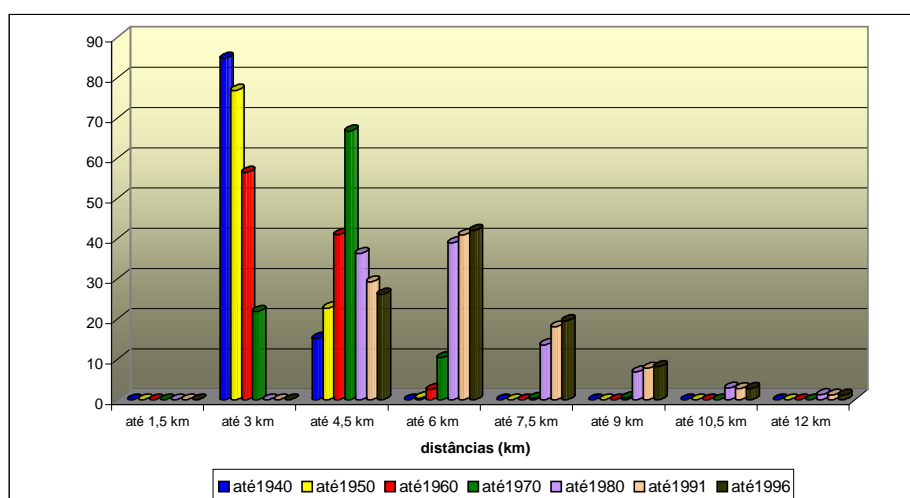


Figura 25 - Distribuição de frequências da Acessibilidade de Allen em Araraquara.

Pode-se ver agora a evolução do Índice de Acessibilidade Global E ao longo do tempo (comparados com valores de cidades circulares), apresentada na Figura 26, e o crescimento percentual desse Índice entre cada uma das datas analisadas em Araraquara (Figura 27). Os gráficos dessas figuras mostram como tem sido a expansão urbana da cidade de Araraquara. Percebe-se que a cidade teve um forte e razoavelmente uniforme crescimento nas décadas de 40, 50 e 60, quando o Índice E apresenta crescimento de 7%, 13% e 20%, respectivamente, saltando de 2,48 km em 1940 para 3,60 km em 1970. A década de 70 foi quando a cidade mais cresce, com o Índice E aumentando quase 50% (de 3,60 km para 5,38 km). Na década de 80 e no início dos anos 90 o crescimento foi pequeno (3% e 1%, respectivamente).

A análise global dos gráficos e tabelas apresentados para Araraquara também mostra o crescimento da Acessibilidade de Allen para a cidade, com os valores mais elevados saltando de cerca de 3 km na década de 40 para quase 12 km em 1996, tal como ocorreu em São Carlos. O Índice de Acessibilidade Global passou de 2,48 km em 1940 para 5,62 km em 1996, um crescimento de 225% em 56 anos. Esses números novamente confirmam a

hipótese inicial de que a expansão urbana desordenada diminui os níveis de acessibilidade intra-urbana.

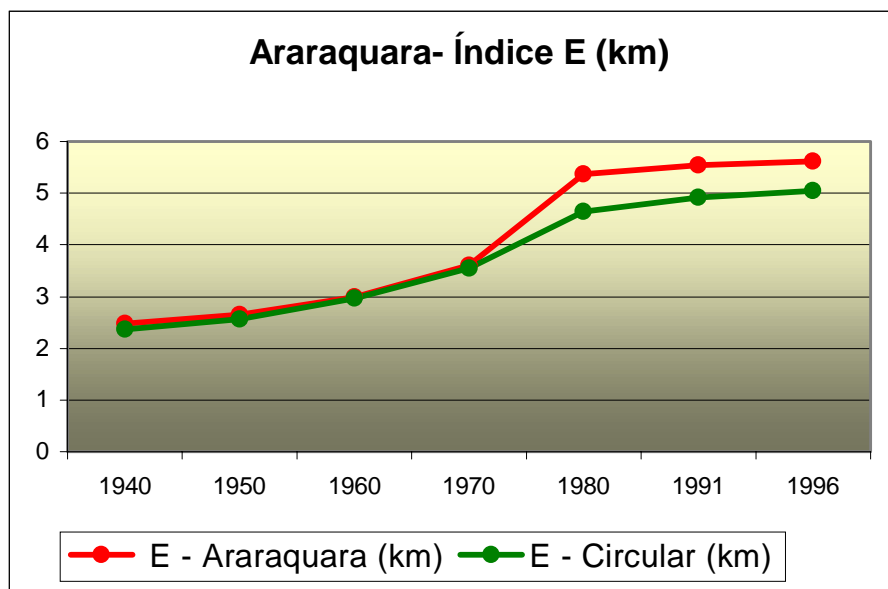


Figura 26 – Evolução do Índice de Acessibilidade Global E em Araraquara e em Cidades Circulares.

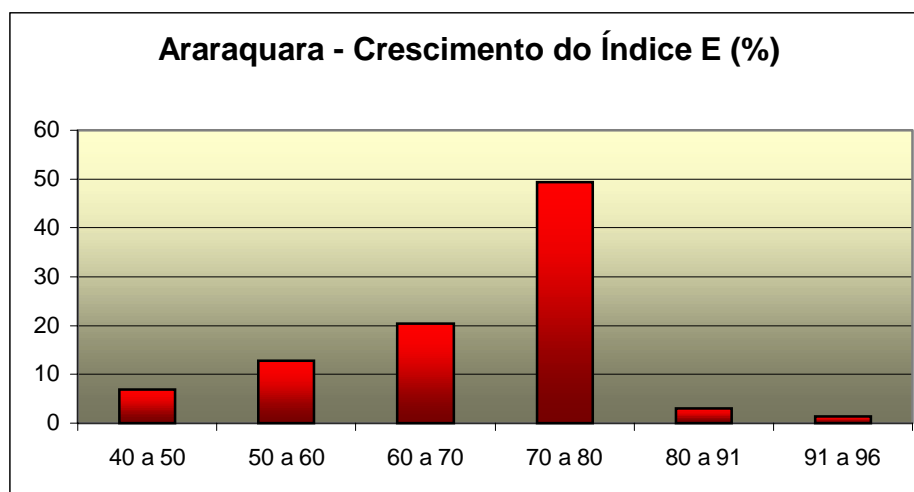


Figura 27 – Crescimento percentual do Índice E em Araraquara.

5.1.3 Comparação do Índice de Allen: São Carlos X Araraquara.

Um das grandes vantagens do Índice de Allen é permitir a comparação dos índices de Acessibilidade de duas maneiras: temporal e espacial. A comparação temporal é feita para uma mesma cidade ao longo do tempo, como se pôde ver em São Carlos e Araraquara. A comparação espacial é feita entre cidades diferentes numa mesma época, através do Índice E. Para que se veja como tem sido a evolução comparativa entre São Carlos e Araraquara, a Figura 28 apresenta a evolução do Índice E ao longo do tempo para as duas cidades, enquanto a Figura 29 mostra o crescimento década a década desse índice.

As Figuras 28 e 29 possibilitam algumas análises sobre a evolução das duas cidades. Enquanto São Carlos apresentou um crescimento significativo do Índice E nas décadas de 40 e 50, Araraquara apresentou um crescimento relativamente pequeno. Esse fato culminou com valores do Índice E maiores para São Carlos do que para Araraquara nas décadas de 60 e 70, o que reflete um maior crescimento de São Carlos até então. Na década de 70, Araraquara apresentou um crescimento vertiginoso, voltando a superar São Carlos no valor de E. Na década de 80, São Carlos voltou a ter um crescimento significativo, apresentando um aumento considerável no Índice E, mas sem conseguir superar os valores de Araraquara. Nos primeiros anos da década de 90, São Carlos ainda cresceu mais que Araraquara, mas num ritmo mais lento, sem conseguir superar o valor de E em Araraquara até 1996. Isso é um fator positivo, uma vez que Araraquara é reconhecidamente uma cidade com um grande percentual de vazios urbanos

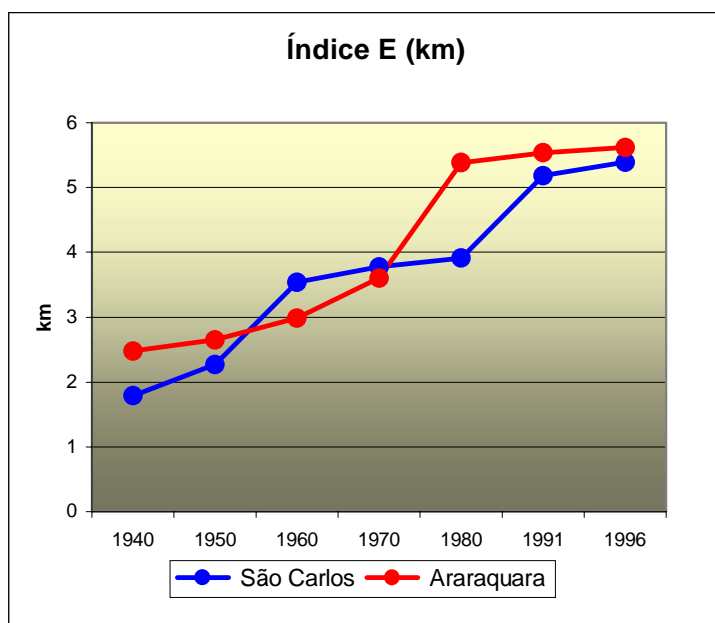


Figura 28 – Evolução do Índice de Acessibilidade Global E em São Carlos e Araraquara.

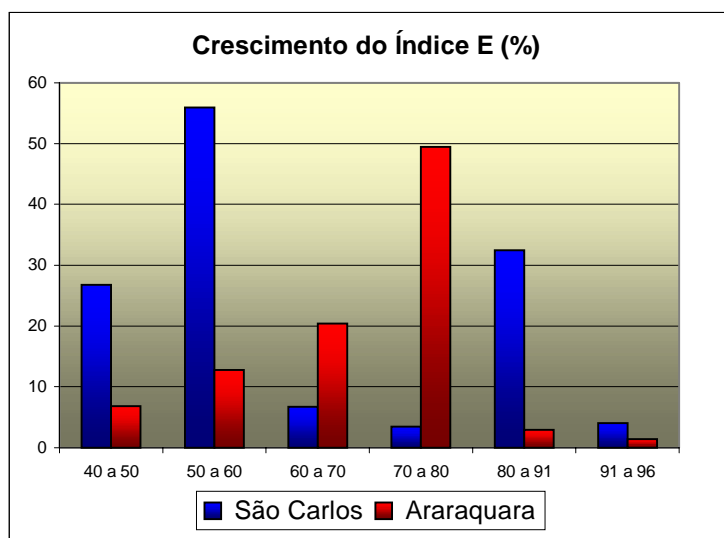


Figura 29 – Crescimento Percentual do Índice E em São Carlos e Araraquara.

Em linhas gerais, pode-se dizer que Araraquara teve um grande crescimento na década de 70, o que provocou um grande aumento nas distâncias médias da cidade (o que significa uma diminuição nos níveis de acessibilidade intra-urbana), provavelmente provocado pelo surgimento de diversas áreas de vazios urbanos. Contudo, esse crescimento desordenado

parece ter diminuído nos últimos anos. Já São Carlos cresceu bastante nas décadas de 50 e 60 e voltou a crescer na década de 80. Isso também piorou os níveis de acessibilidade da cidade, chegando próximo aos índices de Araraquara. Apesar de ainda apresentar o valor do Índice E menor do que o de Araraquara, a tendência de crescimento das duas cidades mostra que São Carlos tende a ultrapassar Araraquara, ou seja, o atual quadro de expansão urbana de São Carlos é pior do que Araraquara, em relação aos níveis de Acessibilidade de Allen.

A análise dos resultados obtidos para São Carlos e Araraquara reflete o que foi discutido no capítulo 2 sobre a expansão das cidades. As épocas de maior crescimento do Índice E coincidem com as épocas de surgimento dos vazios urbanos em cada cidade. O grande crescimento de Araraquara foi na década de 70, provocado pela incorporação à malha urbana de loteamentos realizados em áreas rurais, enquanto que o crescimento mais acentuado de São Carlos foi nos anos 80, devido principalmente à especulação imobiliária, tal como abordado no capítulo 2.

5.1.4 Índice de Allen em Cidades Hipotéticas.

Ainda aproveitando a possibilidade de comparação do Índice de Allen entre diversas regiões, pode-se ver agora como se comportam as cidades de São Carlos e Araraquara comparadas com as cidades hipotéticas geradas no capítulo 3.

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para a Acessibilidade de Allen em São Carlos, Araraquara e nas cidades geradas. Nele, tal como nas Tabelas 4 e 5, aparece o número de interseções em cada categoria, a

porcentagem em relação ao número total de interseções, os valores de acessibilidade mínimo e máximo e o Índice de Acessibilidade Global E.

As cidades foram dispostas pelo valor crescente do Índice E, partindo do valor mais baixo (5,10 km para a cidade circular) para o mais alto (7,12 para a cidade retangular), imaginando-se ser esse índice o que melhor representa a acessibilidade de uma cidade como um todo. A partir desse raciocínio, São Carlos seria a terceira cidade com melhor valor de Acessibilidade global, atrás apenas das cidades tipo circular e quadrada. Já Araraquara seria apenas a quinta cidade, com acessibilidade melhor apenas que a das cidades do tipo seção circular e retangular. Isso reflete um menor espalhamento urbano de São Carlos em relação a Araraquara, uma cidade que apresenta uma grande quantidade de vazios urbanos.

Tabela 6 – Resultados para a Acessibilidade de Allen em São Carlos, Araraquara e nas Cidades Hipotéticas.

| categorias (km) | circular | | quadrada | | São Carlos | | semicircular | |
|-----------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|--------------|---------------|
| | interseções | % | interseções | % | interseções | % | interseções | % |
| 0 a 1,5 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 1,5 a 3,0 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 3,0 a 4,5 | 1343 | 26.96 | 1166 | 23.46 | 1517 | 33.67 | 794 | 16.07 |
| 4,5 a 6,0 | 2871 | 57.64 | 2928 | 58.91 | 1912 | 42.43 | 2691 | 54.47 |
| 6,0 a 7,5 | 767 | 15.40 | 852 | 17.14 | 689 | 15.29 | 1244 | 25.18 |
| 7,5 a 9,0 | 0 | 0.00 | 24 | 0.48 | 110 | 2.44 | 211 | 4.27 |
| 9,0 a 10,5 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 | 185 | 4.11 | 0 | 0.00 |
| 10,5 a 12,0 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 | 93 | 2.06 | 0 | 0.00 |
| total | 4981 | 100.00 | 4970 | 100.00 | 4506 | 100.00 | 4940 | 100.00 |
| mínimo (km) | 3.76 | | 3.92 | | 3.56 | | 4.08 | |
| máximo (km) | 6.45 | | 7.73 | | 11.82 | | 8.91 | |
| índice E (km) | 5.10 | | 5.23 | | 5.39 | | 5.53 | |

| categorias (km) | Araraquara | | seção circular | | retangular | |
|-----------------|-------------|---------------|----------------|---------------|-------------|---------------|
| | interseções | % | interseções | % | interseções | % |
| 0 a 1,5 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 1,5 a 3,0 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 3,0 a 4,5 | 1271 | 26.20 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 4,5 a 6,0 | 2040 | 42.04 | 2170 | 43.29 | 1333 | 26.71 |
| 6,0 a 7,5 | 953 | 19.64 | 1976 | 39.42 | 1894 | 37.95 |
| 7,5 a 9,0 | 399 | 8.22 | 670 | 13.37 | 1104 | 22.12 |
| 9,0 a 10,5 | 135 | 2.78 | 197 | 3.93 | 656 | 13.14 |
| 10,5 a 12,0 | 54 | 1.11 | 0 | 0.00 | 4 | 0.08 |
| total | 4852 | 100.00 | 5013 | 100.00 | 4991 | 100.00 |
| mínimo (km) | 3.72 | | 4.69 | | 5.34 | |
| máximo (km) | 11.97 | | 10.48 | | 10.57 | |
| índice E (km) | 5.62 | | 6.39 | | 7.12 | |

Uma outra constatação importante é a distribuição dos valores de acessibilidade pelas diversas categorias, como pode ser observado no gráfico com a distribuição percentual de acessibilidade nas diversas categorias (Figura 30). Apesar de apresentar valor do Índice E comparável a das cidades imaginadas em condições ideais (circular e quadrada), São Carlos têm valores de Acessibilidade de Allen espalhados por todas as categorias acima de 3 km. As cidades hipotéticas apresentam uma maior concentração de valores: nas categorias mais baixas, nas cidades mais próximas das condições ideais (circular e quadrada), e nas categorias mais altas, nas cidades próximas das condições críticas (semicircular e retangular).

O mesmo comportamento se observa para Araraquara. Esse padrão também reflete a expansão urbana desordenada das cidades, pois percebe-se que com uma melhor distribuição da malha urbana seria possível ter menores distâncias até a periferia para um mesmo número de interseções na cidade (sempre lembrando que todas as cidades comparadas possuem aproximadamente o mesmo número de interseções). A Figura 31 mostra os valores de Acessibilidade de Allen mínimo, máximo e o Índice E para as diversas cidades.

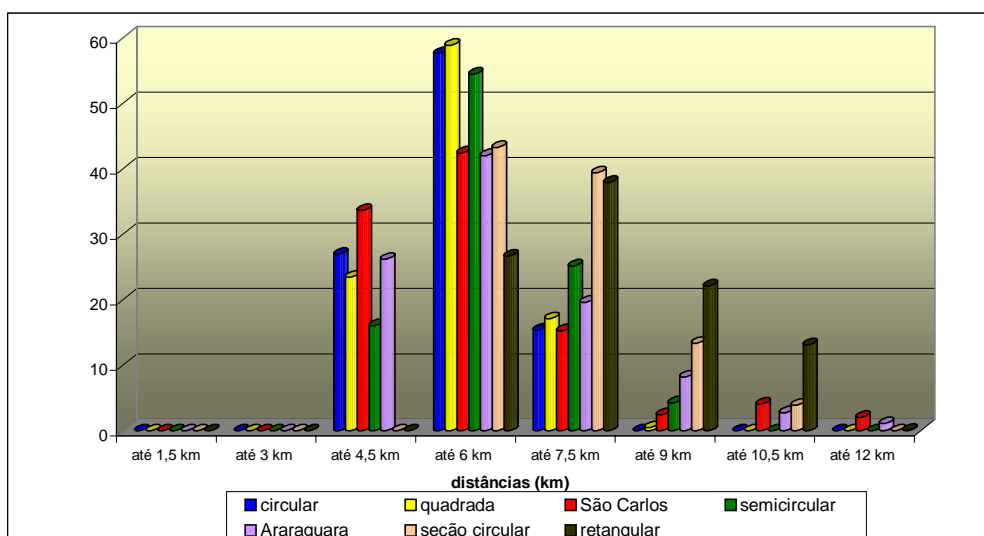


Figura 30 - Distribuição de Frequências da Acessibilidade de Allen em São Carlos, Araraquara e nas Cidades Hipotéticas.

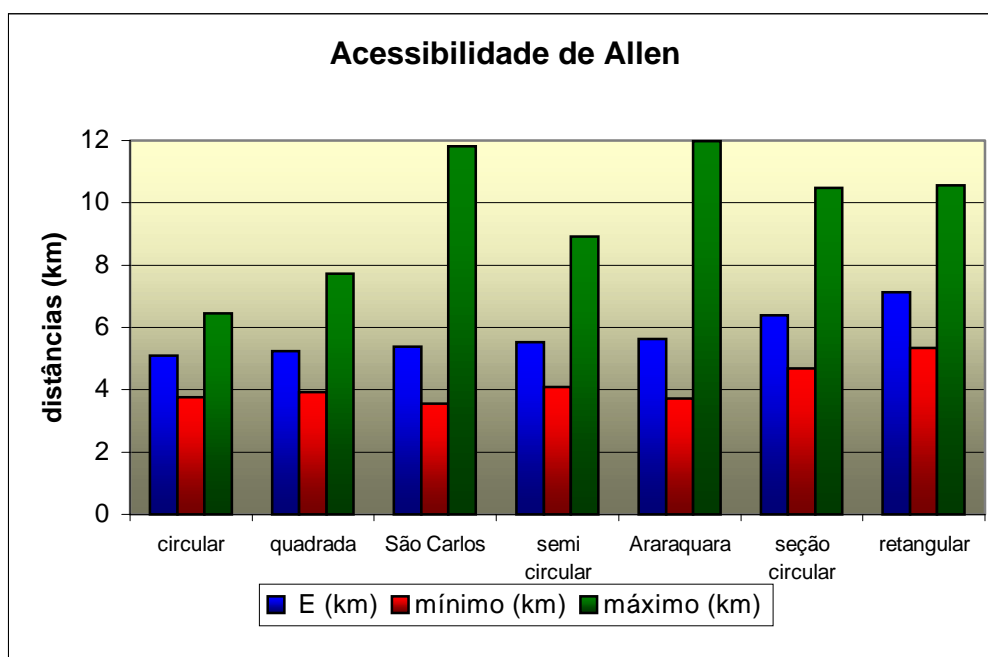


Figura 31 – Valores Mínimos e Máximos da Acessibilidade de Allen e Valor do Índice E em São Carlos, Araraquara e nas Cidades Hipotéticas.

5.2 ÍNDICE DE DAVIDSON

O Índice de Davidson difere do Índice de Allen pois apresenta em sua formulação aspectos comportamentais (alguma medida de atratividade) e não apenas aspectos físicos (distâncias ou tempos de viagem), como é o caso do Índice de Allen. O Índice de Davidson, no entanto, não apresenta a mesma simplicidade do Índice de Allen, pois suas unidades são de difícil interpretação e não têm nenhum sentido físico. Por essa razão, torna-se inviável uma análise quantitativa dos resultados obtidos tal como foi feita para o Índice de Allen, uma vez que não existe sentido em se comparar valores numéricos obtidos em diferentes instantes do tempo ou em diferentes regiões, pois os resultados não são mais simples distâncias médias e sim uma combinação de unidades de distância elevadas a alguma potência combinadas com unidades de densidade populacional, no caso desse trabalho.

Em vista disso, optou-se por se fazer uma análise qualitativa dos resultados, tentando-se extrair algum padrão de comportamento da Acessibilidade de Davidson, primeiro para a cidade de São Carlos e posteriormente para a cidade de Araraquara.

5.2.1 Índice de Davidson em São Carlos

O padrão de comportamento do Índice de Davidson é melhor identificado quando os resultados são apresentados do modo normalizado, como explicado no capítulo 4. As Figuras 12 e 13, apresentadas naquele capítulo, mostram os resultados da Acessibilidade de Davidson obtidos em São Carlos em 1980 e 1991, respectivamente.

Os resultados obtidos se mostram coerentes com o que se conhece na realidade, com os maiores valores de acessibilidade se concentrando na região central da cidade (pontos em vermelho) e os piores na periferia (pontos em azul). Destaca-se o claro deslocamento do centro para a região sudoeste da cidade, tanto em 1980 e 1991, correspondente à Vila Prado, região da cidade com maiores níveis de densidade populacional. Quanto a expansão urbana entre 1980 e 1991, fica difícil efetuar qualquer tipo de comparação, uma vez que o número de interseções contidas em cada categoria é função dos valores mínimos e máximos da Acessibilidade de Davidson (aos quais foram atribuídos valores 0 e 100, respectivamente). O que se pode afirmar com base nas Figuras 10 e 11 (capítulo 4), é que os valores numéricos da acessibilidade aumentaram de 1980 para 1991: a escala de valores de acessibilidade em 1980 ia de 71000 a 104000; em 1991, de 75000 a 118000. Esse aumento parece refletir um decréscimo na acessibilidade de São Carlos.

5.2.2 Índice de Davidson em Araraquara

Pode-se ver agora os resultados de Araraquara com a mesma abordagem de São Carlos. As Figuras 18 e 19, do capítulo 4, apresentam os resultados da Acessibilidade de Davidson obtidos em Araraquara em 1980 e 1991, respectivamente.

Os resultados obtidos novamente correspondem a realidade, com os maiores valores de acessibilidade se concentrando na região central da cidade (pontos em vermelho) e os piores na periferia (pontos em azul). Diferentemente de São Carlos, não há um claro deslocamento da região central: a região de maior adensamento populacional é o centro da cidade, separada pelo grande vazio urbano ocasionado pela Estrada de Ferro, que corta

a cidade na direção Sul-Nordeste. Aliás, este é um fator que diminui a acessibilidade da cidade, pois o acesso entre regiões separadas pela Estrada de Ferro resume-se a alguns poucos locais.

Novamente fica difícil algum tipo de comparação entre os valores de 1980 e 1991, pelos mesmos motivos já citados para a cidade de São Carlos. Pelas Figuras 16 e 17 (capítulo 4) percebe-se que os valores numéricos da acessibilidade também aumentaram de 1980 para 1991: a escala de valores de acessibilidade em 1980 ia de 60000 a 97000; em 1991, de 80000 a 120000. Pelo mesmo raciocínio, esse aumento também parece refletir um decréscimo na acessibilidade de Araraquara

5.2.3 Índice de Davidson em São Carlos em Relação aos Empregos

A interpretação dos resultados do Índice de Davidson em relação ao número de empregos é ainda mais complicada, pois só foram obtidos dados para o cálculo em 1991. Ainda assim, vê-se aqui como se comporta esse índice.

Na Figura 21 (capítulo 4) percebe-se alguma mudança em relação ao Índice de Davidson calculado pela densidade populacional. Agora, o centro não aparece mais deslocado, com o centro dos valores da acessibilidade de Davidson coincidindo com o centro geométrico da cidade. Isso se deve à concentração, ainda que não muito definida, dos empregos na região central da cidade. No entanto, a utilização da densidade populacional parece refletir melhor a realidade nesse caso específico, pois a variável número de empregos aqui levantada não parece ser muito confiável, pelos diversos fatores já comentados no capítulo 4.

5.3 3 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE A CESSIBILIDADE E OFERTA EM TRANSPORTE PÚBLICO

Araraquara apresenta uma característica bem específica para as cidades médias brasileiras, que é o transporte coletivo por trolebus. Esse tipo de transporte já foi implantado no Brasil em 13 cidades, e em apenas 5 delas continua em funcionamento. Além de Araraquara, nas cidades de São Paulo, Recife, Santos e Ribeirão Preto.

O transporte por trolebus foi iniciado em Araraquara no final da década de 50, quando a Prefeitura da cidade criou um imposto adicional, a ser pago junto com o imposto predial para a criação da CTA, Companhia Trolebus Araraquara. A CTA iniciou suas atividades em 1959, com 6 trolebus e 19 km de rede aérea bifilar, conhecendo um período de contínua expansão até 1978, quando contava com 28 trolebus e 84 km de rede elétrica. Esse crescimento era facilitado pela aquisição do acervo das demais empresas de trolebus que iam sendo desativadas em todo o país na década de 60, cujos equipamentos eram vendidos a preço de sucata. No período de 1979/82, a CTA recebeu recursos do Ministério dos Transportes, a fundo perdido, para a aquisição de 10 novos trolebus e para aquisição de novos equipamentos.

A partir de 1989, a CTA inicia uma nova fase passando a adquirir veículos diesel, devido a impossibilidade de continuar expandindo o transporte por trolebus. Inicialmente, os 22 ônibus diesel adquiridos foram aproveitados para servir os novos conjuntos habitacionais não servidos pelo trolebus da companhia. De 1990 a 1993, a CTA adquiriu mais 39 veículos diesel, culminando com 1994 sendo o primeiro ano da história da empresa em

que os ônibus diesel transportaram mais passageiros que os trolebus. Atualmente, poucas são as linhas atendidas por trolebus, uma vez que os veículos sofrem o processo de sucateamento por não ser economicamente viável a sua manutenção e reposição das peças.

FERREIRA (1995) compara o volume de quilômetros rodados pelos veículos da CTA, os gastos com energia e combustível e o total de população transportada, entre 1991 e 1993. O autor conclui que:

1. Aumentou-se o gasto com energia e combustível;
2. Transportou-se por maior quantidade de quilômetros rodados;
3. Transportou-se uma menor quantidade de passageiros.

Esses aspectos dão a entender que o transporte por trolebus era mais eficiente. No entanto, os trolebus cada vez mais são substituídos pelos ônibus diesel. Dentre os motivos mais freqüentes para essa desativação, merecem destaque: a falta de peças para reposição de equipamentos (como já citado); ausência de um efetivo programa de fabricação nacional de trolebus; descontinuidade no fornecimento de energia elétrica e falta de infra-estrutura nas cidades servidas pelos trolebus; ausência de uma mentalidade empresarial voltada para os investimentos em transportes coletivos; e a pressão existente da indústria automobilística, enfatizando o transporte individual (era do automóvel) (FERREIRA, 1995).

Apesar do declínio do uso do trolebus na década de 90, percebe-se que os resultados obtidos sobre a expansão urbana de Araraquara são coerentes com o crescimento da CTA e, por conseguinte, do transporte público. O seu surgimento, no final da década de 50, já reflete o crescimento da cidade nos anos 40 e 50. O grande crescimento de Araraquara na década de 70, culminando inclusive com o aumento do perímetro urbano da cidade em 1979, resultou num crescimento também da CTA em 1979/82, com um acordo junto ao Ministério dos Transportes para ampliação da empresa.

Além disso, pode-se dizer que o alto crescimento de Araraquara e, por conseguinte, dos vazios urbanos, também foi responsável pela quase que extinção do transporte por trolebus na cidade, uma vez que o maior espalhamento urbano aumentou as distâncias entre o centro e a periferia da cidade (onde geralmente mais se precisa de transporte público). Com esse aumento de distâncias, tornou-se inviável a ampliação das linhas de trolebus, uma vez que o transporte por ônibus diesel parece ser mais eficiente para distâncias maiores. O transporte por trolebus ainda poderia ser o principal meio de transporte público em Araraquara, caso a cidade tivesse tido um crescimento planejado, que minimizasse os vazios urbanos. Com distâncias menores, o transporte por trolebus ainda seria uma alternativa economicamente viável.

Essa análise, no entanto, carece de dados mais detalhados, cuja obtenção não foi possível para esta pesquisa.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esse trabalho estudou a variação da acessibilidade em cidades médias brasileiras, através do estudo de caso das cidades paulistas de São Carlos e Araraquara. Foram estudados basicamente dois Índices de Acessibilidade: o Índice de Allen, do tipo separação espacial, e o Índice de Davidson, do tipo gravitacional. Para o Índice de Allen, estudou-se a sua variação desse índice com a expansão urbana das cidades em questão a partir da década de 40, enquanto que para o Índice de Davidson foi estudada a variação da acessibilidade nos anos de 1980 e 1991.

A utilização desses dois índices de acessibilidade parece ser de grande valia no processo de planejamento urbano e de transportes. O Índice de Allen parece ser particularmente interessante, principalmente pela simplicidade de cálculo e pela sua fácil interpretação. O Índice de Davidson apresentou algumas dificuldades para a obtenção de dados que representem com fidelidade a atração de viagens nas diversas regiões das cidades, tendo sido utilizados valores de densidade populacional e oportunidades de emprego. Além da escassez dos dados, o principal problema é a dificuldade de interpretação dos resultados e da comparação desses resultados em diferentes instantes do tempo. Por isso, a relativa similaridade dos resultados entre os

dois índices leva a crer que indicadores do tipo separação espacial, como o de Allen, podem ser utilizados em larga escala em cidades pequenas e médias, devido a sua simplicidade e as características dessas cidades.

Para o propósito específico desse trabalho, que era estudar como a expansão urbana desordenada têm alterado os padrões de acessibilidade intra-urbana das cidades médias brasileiras, o Índice de Allen se mostrou bem adequado a esse tipo de análise, já que ele nada mais é do que a distância média entre diversos pontos de cada cidade. O índice permite a comparação da acessibilidade em instantes diferentes da história de cada cidade, através do Índice de Acessibilidade Global E. A partir dessa análise, foi confirmada a hipótese inicial de que a expansão urbana desordenada de São Carlos e Araraquara diminuiu os níveis de acessibilidade intra-urbana, principalmente pelo crescimento do Índice E nas duas cidades, o que confirma o que foi detalhado nos trabalhos de RAIA JÚNIOR (1995) e SILVA (1997) e descrito no capítulo 2.

Além da comparação temporal, o Índice de Allen possibilita a comparação da acessibilidade de diferentes cidades que apresentem características semelhantes, num mesmo instante, ou ainda a comparação com cidades hipotéticas geradas sob diferentes condições. Através dessa comparação, percebe-se que, apesar de possuir uma acessibilidade pior que a de São Carlos, Araraquara tem tido um crescimento menor nos últimos anos (o maior crescimento da cidade foi na década de 70), enquanto São Carlos vem gradativamente se aproximando dos níveis de acessibilidade de Araraquara, ou seja, um crescimento mais intenso, principalmente na década de 80.

A comparação da acessibilidade em diversos instantes do tempo e também entre regiões permite diagnosticar como a expansão urbana tem influenciado os níveis de acessibilidade intra-urbana. Esse diagnóstico pode, e

deve, ser útil processo de planejamento, na implantação de futuros loteamentos, por exemplo, ou outra ação que possa influenciar a acessibilidade da cidade.

Quanto ao Índice de Davidson, pode-se dizer que os resultados não foram muito satisfatórios, principalmente pela dificuldade de obtenção de dados e de interpretação dos resultados. Além disso, o Índice de Allen parece muito mais apropriado para o tipo de análise proposta nesse trabalho, corroborando o que dizem RAIA JÚNIOR ET AL. (1997), que defendem o uso de índices simples, do tipo separação espacial, em cidades pequenas e médias. Contudo, o Índice de Davidson também parece muito útil para o processo de planejamento urbano, desde que os problemas de disponibilidade de dados e interpretação dos resultados sejam solucionados.

Como conclusão final desse trabalho, fica a comprovação de que os índices de acessibilidade podem servir como ferramentas de planejamento urbano. Para isso, poder-se-ia analisar qual seria o impacto de um novo loteamento no Índice de Acessibilidade Global E, em duas situações: primeiro, seria calculado o valor de E na cidade em questão com o novo loteamento. Em seguida, seria calculado o valor de E numa cidade com as melhores condições para o Índice de Acessibilidade de Allen (cidade circular com distribuição uniforme das ruas, tal como demonstrado nesse trabalho). Esse cálculo seria feito pela equação 12, obtida através dos valores de E para cidades circulares de diversos tamanhos, cujo número de interseções é mostrado na Tabela 7. A Figura 32 mostra os valores do Índice E e a função potência ajustada.

Comparando o resultado obtido para a cidade real com a o da cidade circular, poder-se-ia estimar o quanto esse novo loteamento prejudicaria a acessibilidade global da cidade. Dessa forma, seria possível

analisar o efeito que cada alteração introduzida na zona urbana produziria sobre a acessibilidade, procurando sempre aumentar essa acessibilidade e reduzir, assim, o seu impacto sobre a sociedade como um todo.

Tabela 7 – Valores do Índice E em Cidades Circulares.

| interseções | índice E (km) |
|-------------|---------------|
| 265 | 1.18 |
| 789 | 2.03 |
| 1123 | 2.42 |
| 1600 | 2.89 |
| 2300 | 3.47 |
| 3144 | 4.06 |
| 4264 | 4.72 |
| 4981 | 5.10 |
| 6434 | 5.80 |
| 8044 | 6.49 |

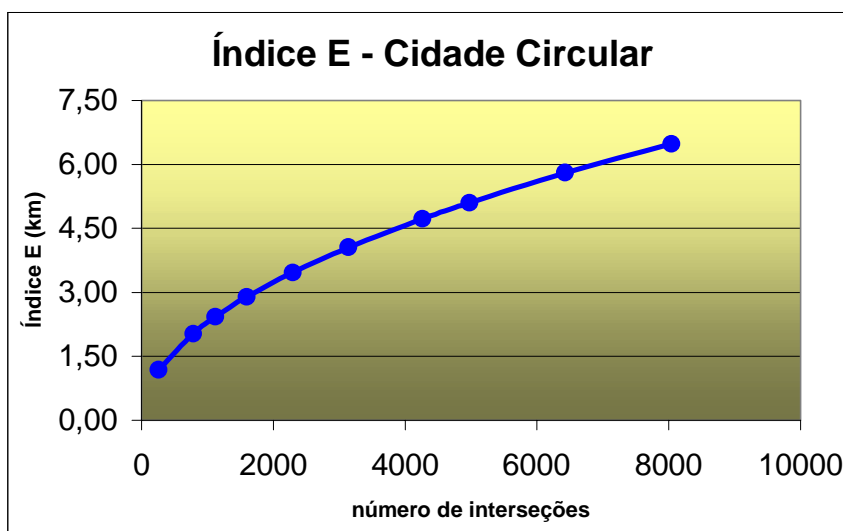


Figura 32 – Valores do Índice E em Cidades Circulares.

$$E = 0,0727 I^{0,4994} \quad (12)$$

Onde:

E = Índice de Acessibilidade Global (km);

I = Número de Interseções.

Para esse tipo de análise, o índice de Allen é bem mais adequado do que o de Davidson, pois a comparação é direta e feita entre variáveis objetivas (distâncias ou tempos de viagem), enquanto que o índice de Davidson envolve variáveis relativas a medidas de atratividade, cuja comparação não é tão simples e imediata.

Como recomendação para futuros trabalhos seria interessante incorporar dados sobre a população nas análises aqui conduzidas, uma vez que o crescimento da malha urbana deve ser uma consequência do crescimento populacional.

Outro aspecto que deve ser considerado é a formulação das cidades de referência, que deveriam ser concebidas com a preocupação de atender a outros elementos que influenciam a qualidade de vida. Neste caso, o seu tamanho poderia ser ampliado para considerar a necessidade de áreas verdes, por exemplo.

7 BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, W. Bruce; LIU, Dong; SINGER, Scott (1993). Accessibility Measures of U.S. Metropolitan Areas. In: *Transportation Research*, v. 27B, n. 6, p. 439-449.
- ARRUDA, João Bosco Furtado (1997). Determinação do Impacto de Projetos de Transportes na Acessibilidade do Trabalhador às Principais Zonas de Emprego Urbano. In: *XI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Anais, v. 2, p. 975-984. Rio de Janeiro.
- BORGES, Julio. M. M. (1975). *Custos de Transporte e Valor dos Terrenos Urbanos*. São Paulo. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo.
- BRUINSMA, F. & RIETVELD, P. (1998). The Accessibility of European Cities: Theoretical Framework and Comparison of Approaches. In: *Environment and Planning A*. v.30, p.499-521.
- BRUTON, Michael J (1979). *Introdução ao Planejamento dos Transportes*. Trad. João Bosco F. Arruda. São Paulo. Interciência/Edusp.
- DAVIDSON, Kenneth Bell (1995). Accessibility and Isolation in Transport Network Evaluation. In: *7th World Conference on Transport Research*. Book of Abstracts. The University of New South Wales, Sydney, Austrália. p.10-8.

- ERLANDER, Sven & STEWART, Neil F (1990). *The Gravity Model in Transportation Analysis: Theory and Extensions*. VSP, The Netherlands, 1990.
- FERRARI, Celson (1986). *Curso de Planejamento Municipal Integrado*. 5^a. Edição. São Paulo, Livraria Pioneira Editora.
- FERREIRA, Enéas Rente (1995). *Trolebus, Espaço e Sociedade*. São Carlos, Tese (Doutorado), 119 p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (1985). *Estudo da Demanda de Transportes Urbanos: Diagnóstico 1981. Prognóstico 1985-1990*. Brasília.
- INGRAM, D. R. (1971). The Concept of Accessibility: a Search for an Operational Form. In: *Regional Studies*, v. 5, 1971. p. 101-107.
- JANUÁRIO, Marcus Henrique (1995). *Procedimento para Determinação de Índices de Acessibilidade de Transporte e Tratamento Cartográfico dos Mesmos*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado). Instituto Militar de Engenharia.
- LIMA, Renato da Silva (1996). *Avaliação da Influência da Acessibilidade ao Transporte com o Auxílio de um SIG*. São Carlos. Relatório de Iniciação Científica. 45 p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MORRIS, J. M.; DUMBLE, P. L.; WIGAN, M. R (1978). Accessibility Indicators for Transport Planning. In: *Transportation Research*, v. 13A, 1978. p. 91-109.
- NIGRIELLO, Andreina (1977). *O Valor do Solo e sua Relação com a Acessibilidade*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- NOVAK, Hélio (1988). As Cidades no Brasil do Futuro. In: *Revista de Administração Municipal*, v. 35, jan/mar 1988, n. 186, p. 6-20.

- OLIVEIRA, Naia; BARCELLOS, Tânia M. de; BARROS, Carmen; RABELO, Maria Mercedes (1989). *Vazios Urbanos em Porto Alegre: Uso Capitalista do Solo e Implicações Sociais*. Secretaria de Coordenação e Planejamento / Fundação de Economia e Estatística. Porto Alegre.
- ORTÚZAR, Juan de Dios & WILLUMSEN, Luis G. (1994) *Modelling Transport*. Chichester, England, John Wiley & Sons.
- POOLER, James A. (1995). The Use of Spatial Separation in the Measurement of Transportation Accessibility. In: *Transportation Research*, v. 29B, p. 421-428.
- RAIA JÚNIOR, Archimedes Azevedo (1995). *Uma Avaliação do Modelo META para Cálculo de Custos de Transportes e seu Uso na Tributação de Terrenos Urbanos Ociosos*. São Carlos, Dissertação (Mestrado). 144 p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RAIA JÚNIOR, Archimedes Azevedo; SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da; BRONDINO, Nair Cristina Margarido (1997). Comparação Entre Medidas de Acessibilidade para Aplicação em Cidades Brasileiras de Médio Porte. In: *XI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Anais, v. 2, p. 997-1008. Rio de Janeiro.
- RAIA JÚNIOR, Archimedes A. & SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da (1998). Um Método Expediente para Verificação da Consistência de Redes para Uso em um SIG-T. In: *XII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Anais, v. 2, p. 10-17. Fortaleza.
- SALES FILHO, Laerte de Holanda (1997). Indicadores de Acessibilidade: Alguns Aprimoramentos Analíticos e seu Uso na Avaliação de Redes Estruturais de Transporte Urbano. In: *XI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Anais, v. 2, p. 975-984. Rio de Janeiro.
- SANCHES, Suely da Penha (1996) Acessibilidade: Um Indicador do Desempenho dos Sistemas de Transporte nas Cidades. In: *X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Anais, v. 1, p. 199-210. Brasília.

- SANTANNA, Jisela Aparecida (1995). *Uma Avaliação da Influência da Acessibilidade no Valor de Terrenos Urbanos Ociosos*. São Carlos. Trabalho de Graduação Integrado. Universidade Federal de São Carlos.
- SANTOS, Milton (1993). *A Urbanização Brasileira*. São Paulo, HUCITEC.
- SHEN, Q. (1998). Location Characteristics of Inner-City Neighborhoods and Employment Accessibility of Low-Wage Workers. In: *Environment and Planning B*. v.25, p.345-365.
- SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da & FERRAZ, Antônio Clóvis Pinto (1991). Densidades Urbanas X Custos dos Serviços Públicos: Análise do Caso de São Carlos. In: *Revista da Administração Municipal*, Rio de Janeiro, v.39, n.199, p.57-66, abr/jun.
- SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da & FERRAZ, Antônio Clóvis Pinto (1993). Uma Nova Sistemática de Tributação da Propriedade Urbana. In: *Revista de Administração Municipal*, Rio de Janeiro, v.40, n. 208, p. 51-61, julho/setembro.
- SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da (1993). *O Custo do Solo Urbano Ocioso e Uma Nova Sistemática de Tributação de Propriedade*. São Carlos, Tese (Doutorado), 137p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da (1997a). Os Custos do Não-Planejamento em São Carlos. In: *Seminário Plano Diretor de São Carlos - Projeto Cidade Urgente*, Anais... São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, p.51-54.
- SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da (1997b). *Using a GIS-T in the Implementation of a Strategy for the Taxation of Idle Urban Land*. Research Report, FAPESP.
- TAGORE, M. R. & SIKDAR, P. K. (1995). A New Accessibility Measure Accounting Mobility Parameters. In: *7th World Conference on Transport Research*. Anais.... The University of New South Wales, Sydney, Austrália. p.10-7.

TALEN, E. & ANSELIN, L. (1998). Assessing Spatial Equity: An Evaluation of Measures of Accessibility to Public Playgrounds. In: *Environment and Planning A*. v.30, p.595-613.

WACHS, Martin & KOENIG, Jan Gerard (1979). *Behavioural Modelling, Accessibility, Modelity and Travel Need*. Chapter 32, p.698-709, London, England.