

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES

ROCHELE AMORIM RIBEIRO

**Modelo baseado em agentes para estimar a geração e a
distribuição de viagens intraurbanas**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Área: Infra-Estrutura de Transportes.

Orientador: Prof. Associado Paulo Cesar Lima Segantine

Co-orientador: Prof. Associado Rui Antônio Rodrigues Ramos

São Carlos, Novembro de 2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Ribeiro, Rochele Amorim.

R484m

Modelo baseado em agentes para estimar a geração e a distribuição de viagens intraurbanas. / Rochele Amorim Ribeiro ; orientador Paulo Cesar Lima Segantine ; co-orientador Rui Antônio Rodrigues Ramos. São Carlos, 2011.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Infra-Estrutura de Transportes)-- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Sistemas multiagentes. 2. Modelo de simulação. 3. Geração de viagens. 4. Distribuição de viagens. 5. Mobilidade urbana. 6. Transportes. 7. Uso do solo. I. Título.

Dedico este trabalho aos meus pais, Gilberto e Nilda

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Arquiteta **ROCHELE AMORIM RIBEIRO**

Título da tese: "Modelo baseado em agentes para estimar a geração e a distribuição de viagens intraurbanas."

Data da defesa: 13/12/2011:

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovada

Prof.^a. Dr.^a. **Maria Teresa Françoso**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovada
Aprovada

Prof.^a. Dr.^a. **Vânia Barcellos Gouvêa Campos**
(Instituto Militar de Engenharia/IME – Rio de Janeiro)

Aprovada

Prof. Dr. **Sergio Antonio Rohm**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovada
Aprovada

Prof. Dr. **Rui Antônio Rodrigues Ramos**
(Universidade do Minho/Portugal)

Aprovada

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Paulo Cesar Lima Segantine, pela orientação desta tese, pelo apoio às atividades acadêmicas, pela amizade e, sobretudo, por ter confiado no meu trabalho desde o início do curso de Doutorado.

Ao Prof. Rui António Rodrigues Ramos, pela co-orientação desta tese, pela amizade e por ter me incentivado a dar continuidade à minha formação acadêmica desde a altura do meu curso de Mestrado.

Ao Prof. Antonio Nelson Rodrigues da Silva, por ter disponibilizado os dados da pesquisa Origem-Destino de São Carlos (SP) e pelas contribuições feitas ao trabalho, sobretudo na defesa do projeto de pesquisa e no exame de qualificação.

Ao Prof. Sérgio Rohn, por ter acompanhado o desenvolvimento desta tese ao participar na defesa do projeto de pesquisa e no exame de qualificação.

À Universidade de São Paulo, à Escola de Engenharia de São Carlos e ao Departamento de Transportes pela completa infra-estrutura oferecida e suporte ao desenvolvimento da pesquisa.

À Universidade Federal de São Carlos e ao Departamento de Engenharia Civil pelo apoio dado à este trabalho, sobretudo por ter concedido o afastamento para cursar o Doutorado. Aos colegas professores do Departamento de Engenharia Civil que me apoiaram e compartilharam palavras de incentivo.

Aos colegas professores e amigos Alex, Silvana, bem como sua família, pela amizade e auxílio na finalização desta tese.

Aos professores da Pós-graduação em Engenharia de Transportes, pela contribuição à minha formação acadêmica.

À secretaria da Pós-graduação em Engenharia de Transportes, formada pelas funcionárias Heloísa e Bete, pelo auxílio nas questões acadêmicas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Doutorado nos primeiros dois anos do curso.

Ao colega de doutorado e amigo Cassiano Isler, pela fundamental e decisiva contribuição ao trabalho desta tese, tanto em aspectos teóricos quanto metodológicos.

À Prof^a. Ana Paula Furlan, pelo apoio durante o curso de Doutorado, pelas sugestões dadas à pesquisa, pela amizade e pelo companheirismo, sobretudo no chimarrão.

Aos funcionários do Departamento de Transportes, em especial: Magali, Alexandre, Toco, Paulinho, João e Paulo Toyama, pelo apoio e simpatia.

Aos colegas da pós-graduação, em especial as amigas: Marcela Costa, Adriana Goulart, Iara Alves, Isabela Fornaciari, Luciana Spigolon e Hellem Miranda, pela amizade e parceria.

Aos meus pais, Gilberto e Nilda, pela dedicação e incentivo à minha formação acadêmica e profissional. À minha irmã Ronise, pela amizade e apoio na minha vinda à São Carlos. Ao meu irmão Rodinei e minha sobrinha Tainan, pelo carinho e torcida. À minha tia Luiza pela amizade e interesse no meu trabalho. Aos demais familiares que me desejam o bem.

Aos amigos, Anelise, Lilia, Miguel e Henrique, pela amizade e pensamento positivo.

Ao amigo e doutorando Fábio Lucio, pela amizade e pelo compartilhamento de idéias e artigos durante o Doutorado.

Aos amigos Rafael e família, pela amizade, apoio e acolhida em São Carlos.

Aos amigos Renata, Thales, Alejandra e Adriana Dibo, pela amizade e convívio em São Carlos.

A todos que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

DAS UTOPIAS

Se as coisas são inatingíveis... ora!

Não é motivo para não querê-las...

Que tristes os caminhos, se não fora

A presença distante das estrelas!

Mário Quintana

(Espelho Mágico. Porto Alegre: Globo, 1951)

RESUMO

Neste trabalho é proposto um modelo para estimar a geração e a distribuição de viagens intraurbanas baseado em agentes, denominado Modelo GDA. Neste modelo foram aplicadas simulações em Sistemas Multiagentes (SMA), nas quais foram usadas, como dados de entrada, informações relativas ao morador e ao uso do solo. Na estimativa da geração de viagens, a simulação SMA foi usada para estimar uma população sintética baseada nas informações sociodemográficas dos moradores e para obter um plano de atividades associado a cada morador. Na estimativa da distribuição de viagens, a simulação SMA foi usada para obter uma matriz Origem-Destino (OD) com base no plano de atividades dos moradores e nos atributos do uso do solo. Para definir os critérios da distribuição de viagens, foram testadas teorias alternativas à força gravitacional, como a teoria das redes livres de escala e o conceito de *path dependence*. Foi feita uma aplicação do Modelo GDA na cidade de São Carlos (SP), cujos resultados estimados foram comparados aos resultados observados, provenientes da pesquisa Origem-Destino (OD), e aos resultados estimados obtidos pela aplicação de modelos gravitacionais nesta cidade. Os resultados mostraram que os resultados estimados obtidos pelo Modelo GDA são tão acurados quanto aos do modelo gravitacional. Conclui-se que o Modelo GDA, comparativamente ao modelo gravitacional, possui vantagens quanto à sua aplicabilidade, pois em vez de serem utilizados pelo modelo dados provenientes de pesquisas de tráfego, geralmente onerosos e de difícil aquisição; são empregados dados acerca do morador e do uso do solo, de fácil coleta e atualização periódica.

ABSTRACT

In this work, an agent-based model in order to estimate trip generation and trip distribution in an intra-urban context (GDA model) is proposed. Simulations using Multiagent Systems (MAS), with input data concerning dwellers and land use were applied in this model. To estimate the trip generation, the MAS simulation was used to elaborate a synthetic population based on sociodemographic information of the dwellers and to obtain an activity plan of each dweller. To estimate the trip distribution, the MAS simulation was used to obtain an Origin-Destiny (OD) matrix based on the dwellers activity plans and the land use characteristics. To define the trip distribution rules, alternative theories to gravitational force like free scale networks and path dependence theories were tested. The GDA model was applied in the urban area of São Carlos (Brazil), whose estimates was compared to the observed data from the OD survey and the estimate data from the Gravity model applied in this same area. The results showed that the estimates from the GDA Model are as accurate as from the Gravity Model. It was observed that the GDA Model presents advantages in relation to the Gravity Model because instead of using traffic survey data, which often is expensive and difficult to get, it uses dwellers and land use information, which is periodically collected from government researches, making it easy for government agencies to obtain this information.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 –	Losango espaço-tempo. Adaptado de Hägerstrand (1970).....	41
Figura 2.2 –	Modelo <i>ABM</i> em sistemas complexos. Adaptado de Bernhardt (2007).	46
Figura 2.3 –	Estrutura do modelo UrbanSim. Adaptado de Waddell (2002).....	49
Figura 2.4 –	Processo de integração dos dados no UrbanSim. Adaptado de Waddell (2002)	50
Figura 2.5 –	Estrutura do modelo <i>ILUMASS</i> . Adaptado de Strauch <i>et al.</i> (2005).....	51
Figura 2.6 –	Exemplo de tipos de redes: (a) uma rede não-dirigida com apenas um único tipo de vértice e um único tipo de arco; (b) uma rede com diferentes tipos de vértices e de arcos; (c) uma rede com diferentes pesos para os vértices e para os arcos; uma rede dirigida, na qual está indicado o sentido das fluxos de informações a partir de setas. Adaptado de Newman (2003).	58
Figura 2.7 –	Distribuição das conexões em redes livres de escala – exemplo de redes reais (BARABASI e ALBERT, 1999).....	60
Figura 2.8 –	Exemplos de redes reais: (a) Sistema de rodovias norte-americanas: exemplo de rede aleatória; (b) Sistema de aerovias norte-americanas: exemplo de rede livre de escala. Adaptado de Barabasi e Bonabeau (2003)	61
Figura 2.9 –	Sequência que descreve o crescimento de uma rede livre de escala, no qual o novo vértice (cor verde) escolhe conectar-se com os vértices existentes (cor vermelha) com maior grau. (BARABASI e BONABEAU, 2003).....	62
Figura 3.1 –	Diagrama geral da estrutura do modelo	66
Figura 3.2 –	Diagrama do Módulo 1 – Produção de viagens.....	71
Figura 3.3 –	Diagrama do Módulo 2 – Definição das atividades	73
Figura 3.4 –	Distribuição dos valores da variável <i>p-plan</i> para probabilidade $P_{idade} = 100\%$	75
Figura 3.5 –	Diagrama do algoritmo <i>CHOOSE-ACTIVITY</i>	76
Figura 3.6 –	Diagrama do Modelo 3 - Atração de viagens	81
Figura 3.7 –	Diagrama do Módulo 4 – Distribuição de Viagens.....	86
Figura 4.1 –	Pirâmide Etária – São Carlos (SP). Estimativa para o ano 2007 (SEADE, 2010).....	88
Figura 4.2 –	Distribuição da população conforme a faixa etária. IBGE, (2000a); Adaptado de São Carlos (2007a).	88
Figura 4.3 –	Evolução histórica da ocupação urbana na cidade de São Carlos (SP). Adaptado de (SÃO CARLOS, 2007a).....	89
Figura 4.4 –	Mapeamento das áreas com predominante uso misto. Adaptado de São Carlos (2007a).....	90

Figura 4.5 – Mapeamento do uso do solo na cidade de São Carlos (SP). Adaptado de São Carlos (2007c), com as atualizações descritas na seção 5.1.3 (Aplicação do Módulo 3).....	91
Figura 4.6 – Hierarquia Viária. Adaptado de São Carlos (2007a)	92
Figura 4.7 – Estrutura Conceitual do sistema viário. Adaptado de São Carlos (2007a)	93
Figura 4.8 – Conflitos no sistema viário. Adaptado de São Carlos (2007a).....	93
Figura 4.9 – Viagens atraídas por população residente na UEA.....	100
Figura 4.10 – Localização das novas UEA.....	101
Figura 4.11 – Imagens georreferenciadas usadas para o levantamento dos domicílios nos loteamentos não contemplados pela base dos setores censitários (IBGE, 2000b) e dos domicílios (SAAE, 2007): (a) Embaré, (b) Samambaia e Bosque, (c) Dahma	103
Figura 4.12 – Diferença entre as estimativas de produção e atração de viagens pelos métodos M1 e M2 – amostra ED.....	105
Figura 4.13 – Viagens produzidas : Comparação entre a amostra ED e resultados de M1 e M2.....	107
Figura 4.14 – Viagens atraídas: Comparação entre a amostra ED e resultados de M1 e M2.....	108
Figura 5.1 – Distribuição dos domicílios quanto ao número de moradores.....	110
Figura 5.2 – Distribuição da população segunda a faixa etária,.....	112
Figura 5.3 – Interface do Módulo 1 aplicação à cidade de São Carlos (SP).....	115
Figura 5.4 – Probabilidade de escolha das atividades conforme faixa etária do morador (observações da pesquisa ED) - aplicação à cidade de São Carlos (SP).....	117
Figura 5.5 – Probabilidade de escolha de atividades quanto à situação domiciliar (observações da pesquisa ED) - aplicação à cidade de São Carlos (SP)	117
Figura 5.6 – Gráficos comparativos dos resultados obtidos pelas funções <i>p-plan</i> e os observados na amostra ED - aplicação à cidade de São Carlos (SP)	119
Figura 5.7 – Interface do Módulo 2 - aplicação à cidade de São Carlos (SP).....	120
Figura 5.8 – Estimativa de viagens diárias atraídas para as atividades <i>trabalhar</i> e <i>estudar</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SP).....	125
Figura 5.9 – Distribuição do desvio-padrão em relação à média dos valores da variável <i>atracao</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SP)	126
Figura 5.10 – Distribuição do desvio-padrão em relação à média dos valores da variável <i><atividade>_prob</i> nas UEAs – atividade <i>trabalhar</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SP)	127
Figura 5.11 – Distribuição do desvio-padrão em relação à média dos valores da variável <i><atividade>_prob</i> nas UEAs – atividade <i>estudar</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SP)	128
Figura 5.12 – Distribuição do desvio-padrão em relação à média dos valores <i>total_prob</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SP).....	129
Figura 5.13 – Distribuição do desvio-padrão em relação à média dos valores da variável <i>cont_indiv</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SP).....	130

Figura 5.14 – Mapas temáticos com a (a) cronologia dos loteamentos e com a (b) distribuição da variável <i>peso_CDB</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SP).....	131
Figura 5.15 – Conectores dos centróides – aplicação em São Carlos (SP).....	132
Figura 5.16 – Seleção dos nós da rede para o cálculo da matriz de distância – distância da rota	133
Figura 5.17 – Interface do Módulo 4	134
Figura 5.18 – Distribuição das viagens por distância - aplicação à cidade de São Carlos (SP).....	136
Figura 5.19 – Distribuição do fator de fricção – aplicação à cidade de São Carlos (SP)....	137
Figura 6.1 – <i>TLD</i> dos resultados observados na amostra ED (SÃO CARLOS, 2007d) ...	141
Figura 6.2 – <i>TLD</i> dos resultados estimados pelo modelo GRAVIT (<i>TLD-GRAVIT</i>) - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	141
Figura 6.3 – <i>TLD</i> dos resultados do modelo <i>UTPS</i> (<i>TLD-UTPS</i>) - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	142
Figura 6.4 – <i>TLD</i> dos resultados dos modelos GDA-D - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	142
Figura 6.5 – <i>TLD</i> dos resultados dos modelos GDA-SD - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	142
Figura 6.6 – TC e teste KS dos <i>TLDs</i> dos resultados dos modelos GDA-D em relação a <i>TLD-G-OD</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	145
Figura 6.7 – TC e teste KS dos <i>TLDs</i> dos resultados dos modelos GDA-SD com relação a <i>TLD-G-OD</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	146
Figura 6.8 – TC e teste KS entre os valores estimados pelo <i>MATSim</i> e os observados. Gráfico feito com os resultados de Meister <i>et al.</i> (2010).....	147
Figura 6.9 – TC e teste KS entre o <i>TLD</i> dos resultados dos modelos TP/PC-D e AP-SD - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	148
Figura 6.10 – TC e KS do <i>TLD-GRAVIT</i> com relação ao <i>TLD-UTPS</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	149
Figura 6.11 – TC e teste KS dos <i>TLD-GRAVIT</i> e <i>TLD-UTPS</i> com relação a <i>TLD-G-OD</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	149
Figura 6.12 – TC e teste KS entre <i>TLD-TP/PC-D</i> e os <i>TLDs</i> dos resultados dos modelos gravitacionais - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	151
Figura 6.13 – TC e teste KS entre <i>TLD-AP-SD</i> e os <i>TLDs</i> dos resultados dos modelos gravitacionais - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	151
Figura 6.14 – Resultados observados: (a) Produção de viagens e (b) Atração de viagens para as atividades <i>trabalhar</i> e <i>estudar</i> (SÃO CARLOS, 2007d)	155
Figura 6.15 – Estimativas das viagens produzidas pelos modelos GDA para as atividades <i>trabalhar</i> e <i>estudar</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SC): (a) Modelo TP/PC - D e (b) Modelo AP-SD	156
Figura 6.16 – Estimativas das viagens produzidas pelos modelos gravitacionais para as atividades <i>trabalhar</i> e <i>estudar</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SC): (a) Modelo GRAVIT - D e (b) Modelo <i>UTPS</i>	157

Figura 6.17 – Taxa de desvio dos resultados observados por setor censitário: (a) Produção; (b) Atração	161
Figura 6.18 – Validação das estimativas de atração de viagens.....	163
Figura 6.19 – Validação da estimativa de produção de viagens: (a) Modelo GDA TP/PC-D; (b) Modelo GDA AP-SD	164
Figura 6.20 – Validação da estimativa de produção de viagens: (a) Modelo GRAVIT; (b) Modelo <i>UTPS</i>	165
Figura 6.21 – Comparação dos resultados de validação da Produção entre os modelos gravitacionais, (a) GRAVIT x <i>UTPS</i> , e entre os modelos GDA, (b) TP/PC-D x AP-SD	166
Figura 6.22 – Comparação dos resultados de validação da Produção do Modelo TP/PC-D com (a) Modelo GRAVIT; (b) Modelo <i>UTPS</i>	167
Figura 6.23 – Comparação dos resultados de validação da Produção do Modelo AP-SD com (a) Modelo GRAVIT; (b) Modelo <i>UTPS</i>	168
Figura 6.24 – Alocação de fluxo estimada pelos modelos	172
Figura 6.25 – Divisão das UEA em regiões conforme a variável <i>peso_CDB</i>	175
Figura 6.26 – Matriz de identificação de erros <i>outliers</i> dos modelos TP/PC-D x GRAVIT	176
Figura 6.27 – Alocação de fluxo dos pares OD <i>outliers</i> dos modelos TP/PC-D x GRAVIT	177
Figura 6.28 – Matriz de identificação de erros <i>outliers</i> dos modelos AP-SD x GRAVIT	178
Figura 6.29 – Alocação de fluxo dos pares OD <i>outliers</i> dos modelos AP-SD x GRAVIT	178
Figura 6.30 – Matrizes de identificação de erros <i>outliers</i> dos modelos TP/PC – D x <i>UTPS</i>	179
Figura 6.31 – Matrizes de identificação de erros <i>outliers</i> dos modelos AP-SD x <i>UTPS</i>	180
Figura 6.32 – Localização das UEA com maior quantidade de erros <i>outliers</i> dos modelos TP/PC –D x <i>UTPS</i> e AP-SD x <i>UTPS</i>	180
Figura 6.33 – Alocação de fluxo dos pares OD <i>outliers</i> dos modelos TP/PC-D x <i>UTPS</i>	181
Figura 6.34 – Alocação de fluxo dos valores <i>outliers</i> dos modelos: AP-SD x <i>UTPS</i>	182
Figura 6.35 – Distribuição das viagens nos pares OD da matriz da amostra ED.....	184
Figura 6.36 – Distribuição das viagens nos pares OD da matriz dos modelos: (a) TP/PC-D; (b) AP-SD; (c) GRAVIT; (d) <i>UTPS</i>	184

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação entre as notações do <i>RUM</i> nos modelos de transportes	42
Tabela 2.2 – Variáveis de alocação das atividades relacionadas à célula (ARENTZE e TIMMERMANS, 2007)	53
Tabela 3.1 – Notação dos componentes do modelo	65
Tabela 3.2 – Configurações dos Modelos GDA e suas respectivas siglas	83
Tabela 3.3 – Critérios de escolha do destino de viagem no algoritmo <i>CHOOSE-DESTINY</i>	85
Tabela 4.1 – Resumo quantitativo sobre os dados coletados na ED; PAD_1 E PAD_2.	96
Tabela 5.1 – Valores numéricos da distribuição dos domicílios quanto ao número de moradores.....	110
Tabela 5.2 – Valores numéricos da distribuição da população por faixa etária	111
Tabela 5.3 – Critérios e parâmetros para a definição da estrutura domiciliar – aplicação à cidade de São Carlos (SP)	113
Tabela 5.4 – Critérios e parâmetros para distribuição da população na estrutura domiciliar – aplicação à cidade de São Carlos (SP).....	113
Tabela 5.5 – Lista de planos de atividades diárias – aplicação à cidade de São Carlos (SP).....	116
Tabela 5.6 – Critérios para atribuir o nível de ensino à atividade <i>estudar</i> - aplicação à cidade de São Carlos (SP)	118
Tabela 5.7 – Número de empregos por ramo de atividade – São Carlos (SP) – ano 2007	123
Tabela 5.8 – Número de matrículas por nível de ensino – São Carlos (SP) – ano 2007 ..	124
Tabela 5.9 – Configurações dos modelos gravitacionais e suas respectivas siglas	138
Tabela 6.1 – Porcentagem de erro em relação ao TC dos TLDs dos resultados observados e estimados pelos modelos alternativos e gravitacionais - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	152
Tabela 6.2 - Resumo dos resultados da análise da distribuição de viagens (<i>TLD</i>) - aplicação à cidade de São Carlos (SC).....	153
Tabela 6.3 – Porcentagem de erro entre os modelos alternativos e o modelo gravitacional, com relação às medidas de χ^2 e EQM,	159
Tabela 6.4 – Porcentagem de UEAs válidas	162
Tabela 6.5 – Estatística descritiva das diferenças das estimativas de produção de viagem das UEAs com resultado de validação diferente na comparação entre modelos	169
Tabela 6.6 – UEA com resultado de validação diferente na comparação entre os modelos (porcentagem com relação ao total)	169

Tabela 6.7 – Estatística descritiva dos resultados observados e estimados de fluxo de tráfego	171
Tabela 6.8 – Porcentagem de erro quanto à média da estimativa de fluxo de tráfego dos modelos GDA com relação aos modelos gravitacionais	171
Tabela 6.9 – Porcentagem de viagens intrazonais	173
Tabela 6.10 – Porcentagem de erro nas estimativas das viagens intrazonais dos modelos alternativos com relação aos modelos gravitacionais.....	174
Tabela 6.11 – Comparação dos fluxos dos pares OD <i>outliers</i> dos modelos TP/PC-D x GRAVIT	177
Tabela 6.12 – Comparação dos fluxos dos pares OD <i>outliers</i> : AP-SD x GRAVIT	179
Tabela 6.13 – Comparação da média dos fluxos de viagem dos pares OD <i>outliers</i> : TP/PC-D x UTPS.....	181
Tabela 6.14 – Comparação da média dos fluxos dos pares OD <i>outliers</i> : AP-SD x UTPS...	182
Tabela 6.15 – Quantidade de rotas com <i>outliers</i> na estimativa de fluxo de tráfego – Comparação entre as estimativas do modelo gravitacional com as dos modelos GDA	182
Tabela 6.16 – Características da distribuição das viagens nos pares OD das matrizes.....	185
Tabela 6.17 – Resumo dos resultados da análise do TLD.....	186
Tabela 6.18 – Resumo dos resultados da análise das matrizes PA	186
Tabela 6.19 – Resumo dos resultados da análise das matrizes OD.....	186

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Estimativa de produção e atração de viagens feita a partir da regressão linear	205
Apêndice B – Regressão linear com (x) = tamanho família e (y) = número de filhos	206
Apêndice C – Probabilidade de escolha das atividades conforme faixa etária do morador (observações da pesquisa OD)	207
Apêndice D – Probabilidade de escolha de atividades quanto à situação domiciliar, (observações da pesquisa OD)	207
Apêndice E – Descrição do algoritmo <i>SETPLAN</i>	208
Apêndice F – Exemplo da aplicação do algoritmo <i>CHOOSE-ACTIVITY</i>	208
Apêndice G – Resultados obtidos na aplicação das três funções <i>p-plan</i> e o observado na pesquisa ED	209
Apêndice H – Cálculo do erro no χ^2 e EQM do modelo TC/PC-D e AP-SD	209
Apêndice I – Tratamento dos dados considerados em Zhao <i>et al</i> , (2004)	210
Apêndice J – Tratamento dos dados considerados em Meister <i>et al</i> , (2010).....	212
Apêndice K – Dados numéricos dos gráficos <i>TLD</i> dos resultados observados e dos estimados pelos modelos	213
Apêndice L – Dados da produção e atração de viagens provenientes da expansão da matriz OD.....	214
Apêndice M – Programa computacional da aplicação do Módulo 1	214
Apêndice N – Programa computacional da aplicação do Módulo 2	214
Apêndice O – Valor da Variável <i>atracao</i> por UEA – estimativa de atração de viagens	214
Apêndice P – Programa computacional da aplicação do Módulo 4	214
Apêndice Q – Matriz de impedância.....	214
Apêndice R – Valores de χ^2 e EQM	214
Apêndice S – Validação das matrizes PA.....	214
Apêndice T – Contagens das viagens intrazonais.....	214

LISTA DE ANEXOS

Anexo A –	Arquivos geográficos de São Carlos (SP) que formam a base do ambiente de simulação (<i>Em anexo no CD-ROM</i>)	215
Anexo B –	Destinos com maior atração de viagens intraurbanas na cidade de São Carlos (SP) (SÃO CARLOS, 2007d).....	215

LISTA DE SIGLAS

χ^2	Teste Qui-quadrado
<i>ABM</i>	<i>Agent Based Models</i>
AC	Autômatos Celulares
AP-D	(Modelo GDA) Atividade-Prob – com Distância de deslocamento
AP-SD	(Modelo GDA) Atividade-Prob – Sem Distância de deslocamento
<i>ASCII</i>	<i>American Standard Code for Information Interchange</i> . Formato usado para arquivos imagem raster.
<i>CAD</i>	<i>Computer Aided Design</i>
<i>CCL</i>	<i>Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling</i>
<i>CDB</i>	<i>Central Business District</i>
<i>DWG</i>	<i>Drawing</i> – extensão de arquivos dos programas <i>CAD</i>
ED	Entrevista Domiciliar
EF	Ensino Fundamental
EI	Educação Infantil
EM	Ensino Médio
EQM	Erro Quadrático Médio
ES	Ensino Superior e técnico
EUA	Estados Unidos da América
FADISC	Faculdades Integradas de São Carlos
GDA	(modelo de) Geração e Distribuição de viagens baseado em Agentes
GDA-D	(modelo de) Geração e Distribuição de viagens baseado em Agentes – com Distância de deslocamento
GDA-SD	(modelo de) Geração e Distribuição de viagens baseado em Agentes – Sem Distância de deslocamento
G-OD	modelo gravitacional feito com dados da amostra da pesquisa OD
GRAVIT	modelo gravitacional duplamente restringido
IAD	Inteligência Artificial Distribuída

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID	Identificador dos elementos do arquivo geográfico
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
<i>ILUMASS</i>	<i>Integrated Land-Use Modelling and Transportation System Simulation</i>
<i>IPF</i>	<i>Iterative Proportional Fitting</i>
<i>ITS</i>	<i>Intelligent Transport System</i>
IV	Intervalo de Variação
KS	Teste Kolmogorov-Smirnov
<i>LUCC</i>	<i>Land Use Cover Change</i>
M1	Método proposto pela tese para a expansão a matriz PA
M2	Método proposto por Ortúzar e Willumsen (1994) para a expansão da matriz PA
<i>MATSim</i>	<i>Multi-Agent Transport Simulation</i>
MED	Modelo de Escolha Discreta
MOI	Modelo de Oportunidades Intervenientes
OD	Origem-Destino
PA	Produção-Atração
PAD	Pesquisa baseada nas Atividades Diárias
PC-D	(Modelo GDA) Peso-CDB – com Distância de deslocamento
PC-SD	(Modelo GDA) Peso-CDB – Sem Distância de deslocamento
PGT	Pólo Gerador de Tráfego
PMSC	Prefeitura Municipal de São Carlos
<i>PUMS</i>	<i>Public Use Microdata Samples</i>
<i>RUM</i>	<i>Random Utility Models</i>
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SEADE	Sistema Estadual de Análise dos Dados
<i>SHP</i>	<i>Shapefile</i> – extensão de arquivos geográficos vetor
SIG	Sistema de Informações Geográficas

SMA	Sistemas Multiagentes
SP	Estado de São Paulo
TC	Taxa de Coincidência
<i>TIFF</i>	Tagged Image File Format - extensão de arquivo raster
<i>TLD</i>	<i>Trip Length Distribution</i>
<i>TLD-AP-D</i>	Gráfico <i>TLD</i> do modelo <i>TLD-AP-D</i>
<i>TLD-AP-SD</i>	Gráfico <i>TLD</i> do modelo <i>TLD-AP-SD</i>
<i>TLD-G-OD</i>	Gráfico <i>TLD</i> do modelo G-OD
<i>TLD-PC-D</i>	Gráfico <i>TLD</i> do modelo <i>TLD-PC-D</i>
<i>TLD-PC-SD</i>	Gráfico <i>TLD</i> do modelo <i>TLD-PC-SD</i>
<i>TLD-TP/PC-D</i>	Gráfico <i>TLD</i> do modelo <i>TLD-TP/PC-D</i>
<i>TLD-TP/PC-SD</i>	Gráfico <i>TLD</i> do modelo <i>TLD-TP/PC-SD</i>
<i>TLD-TP-D</i>	Gráfico <i>TLD</i> do modelo <i>TLD-TP-D</i>
<i>TLD-TP-SD</i>	Gráfico <i>TLD</i> do modelo <i>TLD-TP-SD</i>
<i>TLUMIP</i>	<i>Transportation and Land Use Model Integration Project</i>
TP/PC-D	(Modelo GDA) Total-Prob / Peso-CDB – com Distância de deslocamento
TP/PC-SD	(Modelo GDA) Total-Prob / Peso-CDB – Sem Distância de deslocamento
TP-D	(Modelo GDA) Total-Prob – com Distância de deslocamento
TP-SD	(Modelo GDA) Total-Prob – Sem Distância de deslocamento
UEA	Unidades Espaciais de Análise
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNICEP	Centro Universitário Central Paulista
<i>UrbanSIM</i>	<i>Urban Simulation</i>
USP	Universidade de São Paulo
<i>UTM</i>	<i>Universal Transverse Mercator</i>
<i>UTPS</i>	<i>Urban Transport Planning System</i>
WGS84	World Geodetic System 1984

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 Tema	25
1.2 Problema e hipótese	28
1.3 Objetivos e justificativa	29
1.4 Estrutura do trabalho	30
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1 Histórico sobre os modelos urbanos de transporte e uso do solo	34
2.1.1 Teorias iniciais	35
2.1.2 Modelos gravitacionais	36
2.1.3 Reestruturação dos modelos	38
2.1.4 Modelo baseados em atividades	40
2.1.5 Microssimulação e Geossimulação	43
2.1.6 Modelos baseados em agentes e simulação multiagente	44
2.2 Exemplos de modelos	47
2.2.1 <i>UrbanSIM</i>	48
2.2.2 <i>ILUMASS</i>	50
2.2.3 Modelo Multiagente de cognição especial	52
2.2.4 <i>MATSim</i>	53
2.3 Geração da população sintética baseada no domicílio	55
2.4 Teorias alternativas para distribuição de viagens	57
3 ESTRUTURA DO MODELO GDA	63
3.1 Aspectos gerais da estrutura do Modelo GDA	63
3.2 Unidade Espacial de Análise (UEA)	67
3.3 Plataforma computacional	67
3.4 Módulo 1 – Produção de viagens	69
3.5 Módulo 2 – Definição das atividades	72
3.6 Módulo 3 – Atração de viagens	77
3.7 Módulo 4 – Distribuição de viagens	82
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	87
4.1 Descrição geral da cidade de São Carlos (SP)	87
4.2 Delimitação das Unidades Espaciais de Análise (UEA)	94

4.3 Dados sobre a configuração urbana: Bases geográficas	94
4.4 Dados sobre os domicílios e seus moradores: pesquisa OD	95
4.5 Tratamento de dados da pesquisa OD	97
4.5.1 Alocação dos pontos de destino das viagens	97
4.5.2 Determinação das atividades diárias.....	98
4.5.3 Expansão da matriz Produção-Atração (PA).....	99
4.5.3.1 Método para expansão da matriz PA.....	100
4.5.3.2 Comparação entre o método proposto e o método de Ortúzar e Willumsen (1994).....	105
5 APLICAÇÃO DOS MODELOS GDA E GRAVITACIONAL	109
5.1 Aplicação do Modelo GDA.....	109
5.1.1 Aplicação do Módulo 1	110
5.1.2 Aplicação do Módulo 2	116
5.1.3 Aplicação do Módulo 3	121
5.1.3.1 Definição das variáveis de atratividade	125
5.1.4 Aplicação do Modulo 4	131
5.2 Aplicação do modelo gravitacional	135
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	139
6.1 Aspectos gerais da análise comparativa	139
6.2 Resultados dos gráficos <i>TLD</i>	141
6.2.1 Apresentação dos resultados dos gráficos <i>TLD</i>	141
6.2.2 Análise dos gráficos <i>TLD</i>	143
6.2.2.1 Comparação entre os <i>TLD</i> dos resultados dos modelos GDA e os dos resultados observados	144
6.2.2.2 Comparação entre os <i>TLD</i> dos resultados dos modelos gravitacionais e os dos resultados observados	148
6.2.2.3 Comparação entre os <i>TLD</i> dos resultados dos modelos GDA e os dos modelos gravitacionais.....	150
6.3 Resultados das matrizes PA.....	153
6.3.1 Apresentação dos resultados das matrizes PA.....	153
6.3.2 Análise das matrizes PA	158
6.3.2.1 Análise do Teste Qui-Quadrado e Erro Quadrático Médio	158
6.3.2.2 Análise do Intervalo de Variação (IV)	159
6.4 Resultados das matrizes OD	170
6.4.1 Apresentação dos resultados das matrizes OD	170
6.4.2 Análise das matrizes Origem - Destino	173
6.4.2.1 Análise das viagens intrazonais.....	173
6.4.2.2 Avaliação dos pares OD <i>outliers</i>	174

6.4.2.3 Análise da distribuição de viagens entre os pares OD	183
6.5 Avaliação geral dos resultados	185
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	187
7.1 Discussão geral sobre o trabalho	187
7.2 Sugestões para próximos trabalhos	190
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	193
GLOSSÁRIO	203
APÊNDICES.....	205
ANEXOS.....	215

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, a elaboração de um modelo de estimativa da geração e distribuição de viagens recorrendo à simulação por meio de um sistema multiagente (SMA) é posicionado como objetivo principal desta tese. Também são abordadas as questões e as justificativas que levaram ao desenvolvimento desta pesquisa. Por fim, é apresentada a estrutura do trabalho, descrevendo resumidamente o conteúdo dos capítulos deste texto.

1.1 Tema

A estimativa de demanda de viagens de uma cidade é uma informação usada no planejamento do sistema de transporte urbano. Esta estimativa, tanto no cenário atual quanto futuro, é elaborada com o auxílio de modelos de transporte, cujo cálculo se baseia nos dados coletados nas pesquisas de tráfego, como, por exemplo, pesquisas Origem-Destino (OD). A pesquisa OD destina-se a obter informações acerca dos movimentos de pessoas e de cargas em viagens intraurbanas e interurbanas, cujo resultado é usado no planejamento urbano e de transportes. Dentre os fatores que caracterizam a pesquisa OD, se destaca a obtenção de uma base de dados sobre o comportamento das viagens, desde o motivo do deslocamento e escolha modal, até informações socioeconômicas de quem fez a viagem. Logo, os dados permitem a identificação da dinâmica dos deslocamentos diários em uma região, associando-os a dados acerca da configuração espacial urbana, tipos de uso do solo, condições socioeconômicas, localização de pólos geradores de tráfego e distâncias percorridas por modal (MELLO, 1975; BRUTON, 1979).

Entretanto, normalmente os órgãos gestores não costumam disponibilizar recursos financeiros e técnicos para realizar pesquisas de tráfego periódicas, restringindo o uso desses modelos. Assim, um modelo de estimativa de demanda de viagens baseado em dados relativos ao morador e ao uso do solo pode ser uma ferramenta alternativa para ser usada no planejamento do transporte urbano quando não se dispõe de dados atualizados sobre as condições de tráfego. Além disto, esta proposta de modelo pode ser uma opção

menos onerosa em comparação aos modelos tradicionais, pois os dados acerca do morador e do uso do solo são geralmente obtidos com facilidade, devido ao fato já serem levantados em pesquisas feitas pelos órgãos públicos para diferentes propósitos. Como exemplo, os dados socioeconômicos do morador podem ser adquiridos pelo levantamento censitário, os quais são vinculados a setores representados por uma base geográfica, facilitando a integração com demais bases de dados cartográficos. Quanto às características do uso do solo, os dados podem ser obtidos a partir do mapeamento dos tipos de ocupação, geralmente disponibilizados pelas prefeituras para cobranças de impostos e para planejamento e regularização de áreas urbanas.

É conveniente que no modelo de estimativa de demanda de viagens, fundamentado apenas nos dados do morador e do uso do solo, sejam incorporadas características dos modelos baseados em atividades (*Activity-Based Travel Models*) para estimar as viagens que o morador necessita realizar para desempenhar suas atividades (p. exemplo: morar, trabalhar, estudar, divertir-se) no ambiente em que vive. Este tipo de modelo permite integrar aspectos multidisciplinares, como fatores sociais, econômicos, culturais e ambientais, abrangendo a complexidade do fenômeno que determina as viagens urbanas com maior amplitude do que os modelos de interação espacial com base gravitacional, que são usados no modelo quatro etapas (*Four Step Model*) (BTE, 1998; MCNALLY, 2000; JOVICIC, 2001; SALOMON *et al.*, 2002; MCFADDEN, 2007). Para elaborar o modelo de estimativa da demanda baseado no morador e no uso do solo, considera-se que o comportamento das viagens intraurbanas depende de dois fatores: a configuração espacial da região e a característica das atividades diárias dos moradores.

Quanto à configuração da região, percebe-se que a distribuição espacial dos usos do solo, das densidades habitacionais e populacionais, dos pólos geradores de tráfego, do traçado viário e dos elementos da paisagem natural são fatores que influenciam os deslocamentos diários e, assim, direcionam a demanda das viagens urbanas. Tendo como base as características geográficas do ambiente, é possível interpretar estes deslocamentos por meio de técnicas emergentes de planejamento vinculadas à geoinformação. Dentre estas técnicas consideram-se como relevantes para esta tese os Sistemas Multiagentes (SMA).

Os SMAs são sistemas computacionais de Inteligência Artificial Distribuída (IAD), constituídos por agentes que interagem entre si para atingir determinados objetivos ou para realizar determinadas tarefas. Neste caso, o agente é uma entidade computacional capaz de perceber o ambiente a partir dos seus sensores e de produzir ações que afetam o ambiente e/ou outros agentes (SINGH, 1991; D'INVERNO e LUCK, 1998; WEISS, 1999;

WOOLDRIDGE, 1999; 2002). Quanto às aplicações, a estrutura do SMA é usada nos modelos baseados em agentes, nos quais os sistemas sociais são aderidos ao espaço geográfico¹. Este tipo de modelagem é aplicado em diversas áreas da ciência, como a Ecologia, a Sociologia e os Transportes.

Com relação às características das atividades diárias, os moradores têm uma série de atividades a desempenhar ao longo do dia, submetendo-os a determinadas restrições que direcionam seus deslocamentos diários. O tipo de atividade, o tempo disponível e os locais para realizar a atividade são algumas dessas restrições.

Logo, define-se como tema geral desta tese a estimativa da demanda de viagens intraurbanas. Entretanto, neste trabalho, a estimativa da demanda de viagens será restringida aos processos de geração e distribuição de viagens, não considerando a repartição modal e a alocação de fluxo.

Por fim, os temas específicos estão associados ao estudo sobre os modelos de geração e distribuição de viagens; à investigação sobre os modelos baseados em agentes no planejamento em Transportes e à análise da relação entre o morador e o uso do solo quanto a geração e distribuição de viagens intraurbanas.

¹ O conceito de espaço geográfico adotado por esta pesquisa é o delimitado por Câmara, Monteiro e Medeiros (2000), que discutem a definição de Santos (1996) contextualizada na Ciência da Geoinformação:

Sem abandonar as definições anteriores, mas buscando uma visão mais geral sobre os conceitos de espaço, Santos (1996) afirma que “o espaço geográfico é um sistema de objetos e um sistema de ações”. Esta caracterização objetiva contrapor os elementos de *composição* do espaço (os *objetos geográficos*) aos condicionantes de *modificação* deste espaço (as *ações* humanas e dos processos físicos ao longo do tempo). (CÂMARA, MONTEIRO E MEDEIROS, 2000, p.12)

1.2 Problema e hipótese

O problema em evidência nesta pesquisa está vinculado aos obstáculos identificados na aplicação prática dos modelos de transporte. A dificuldade para suprir a quantidade de dados de entrada, a falta de transparência dos processos e o uso de variáveis que não possuem uma relação causal com o fenômeno são motivos que perturbam o emprego dessas ferramentas no processo de tomada de decisões de planejamento.

Logo, busca-se um modelo em que sejam usadas informações de fácil aquisição, (como atributos do morador e do uso do solo) disponibilizadas por levantamentos periódicos (como o censo e o registro de ocupação do solo em áreas urbanas) e variáveis que tenham uma relação causal com a geração e a distribuição de viagens.

Considerando o tema e o problema desta pesquisa, formulam-se as seguintes perguntas:

- (i) É possível desenvolver um modelo de estimativa de geração e distribuição de viagens intraurbanas apoiado apenas em dados referentes ao morador e ao uso do solo, dispensando o uso de informações provenientes de pesquisas de tráfego?
- (ii) É possível que um modelo de simulação multiagente, que explique a geração e a distribuição de viagens por meio dos atributos do morador e do uso do solo, possa ter uma estimativa tão acurada² quanto à dos modelos de interação espacial com base gravitacional?
- (iii) É possível estimar a distribuição de viagens por meio de relações de interação espacial alternativas ao modelo gravitacional?

A hipótese defendida nesta tese é que as três questões acima têm uma resposta afirmativa.

² Entende-se como acurácia a proximidade entre o valor obtido experimentalmente e o valor verdadeiro na medição de uma grandeza física (HOUAISS, 2001). Para este trabalho, a acurácia é a proximidade entre os resultados observados e os resultados estimados com relação à geração e distribuição de viagens.

1.3 Objetivos e justificativa

O objetivo principal desta pesquisa é propor um modelo baseado em agentes para a estimativa da geração e da distribuição de viagens. Para simplificar a redação deste trabalho, este modelo será chamado de “Modelo GDA”, como acrônimo de “Modelo de Geração e Distribuição de viagens baseado em Agentes”.

Como objetivos específicos têm-se:

- (i) Estimar a geração e a distribuição de viagens intraurbanas somente com os atributos do morador e do uso do solo, não usando dados referentes às pesquisas de tráfego;
- (ii) Testar o sistema multiagente na simulação da distribuição das viagens a partir das decisões do morador e da sua interação com o uso do solo;
- (iii) Avaliar teorias alternativas à força gravitacional para explicar o comportamento da distribuição de viagens, como a teoria das redes livres de escala e o conceito de *path dependence*;
- (iv) Aplicar o Modelo GDA em uma área urbana real;
- (v) Comparar a estimativa da demanda de viagens obtida pelo Modelo GDA com a obtida pelo modelo gravitacional e com a observada em uma área urbana real. Neste caso, a área urbana é a cidade de São Carlos (SP).

As estimativas do Modelo GDA e do modelo gravitacional são comparadas com os dados observados na pesquisa Origem-Destino (OD) realizada em São Carlos (SP) (SÃO CARLOS, 2007d), com o intuito de estimar a qualidade das estimativas e validar o Modelo GDA. Deste modo, as decisões quanto à configuração do Modelo GDA fundamentam-se nos dados da pesquisa OD, pois esta é base que viabiliza a construção deste modelo, na medida em que possibilita a validação dos resultados. Por outro lado, parte dos dados dessa base referentes ao perfil sociodemográfico do morador foram utilizados como dados de entrada no Modelo GDA, uma vez que a base de dados sociodemográficos disponível para São Carlos (SP) é o levantamento censitário de 2000 (IBGE, 2000a), cujas informações apresentam uma desatualização com relação à época em que foi feita a pesquisa OD.

Quanto às simplificações adotadas pelo Modelo GDA, é proposta a estimativa de geração e distribuição de viagens para o período de um dia, considerando apenas as atividades *trabalhar* e *estudar* como motivo para a realização de viagens de base residencial. Tendo em vista que os resultados da pesquisa OD em São Carlos (SP)

identificaram que 95% da amostra trata-se de viagens de base residencial e 80% destas viagens tem como motivo o trabalho ou o estudo, esta simplificação adotada pelo modelo está de acordo com a realidade observada na área urbana em que se dá a aplicação. Ademais, se presume que cada morador é capaz de realizar, pelo menos, uma viagem diária, sendo, posteriormente, na etapa da distribuição, o montante de viagens produzidas igualado ao das atraídas, reduzindo sua quantidade, pois nem todos os moradores realizam viagens diariamente.

Ressalta-se que o modelo gravitacional é tomado como referência, pois é um modelo de estimativa de demanda de viagens tradicional e aceito na comunidade científica. Contudo alguns autores identificam problemas quanto às hipóteses de modelagem adotadas pelo modelo gravitacional (LEE, 1973; CHANG, 2006). De qualquer forma, a intenção é comparar a qualidade dos resultados do modelo gravitacional com os do Modelo GDA, considerando a mesma base de dados. Assim, na análise dos dados, pretende-se anular as possíveis distorções decorrentes de erros na coleta e tabulação dos dados observados.

A justificativa para desenvolver este trabalho incide no fato de que, por meio do modelo aqui proposto (Modelo GDA), as dificuldades geralmente encontradas na aplicação dos modelos em transporte podem ser minimizadas, pois são usados dados de fácil aquisição pelos órgãos gestores e variáveis que possuem uma relação causal com o comportamento de viagens. Estas características permitem viabilizar o uso do modelo, de forma que seus resultados possam subsidiar decisões na área do planejamento do transporte e do uso do solo no contexto urbano.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho é apresentado em sete capítulos, a começar por esta introdução, a qual define o tema, os objetivos e a hipótese do trabalho.

No segundo capítulo é abordada a revisão bibliográfica, que mostra o estado da arte sobre a estimativa da demanda de viagens. Primeiramente são apresentados os modelos urbanos de uso do solo e transporte, destacando aqueles cujo método serve de base para o Modelo GDA. Na sequência são discutidos os métodos de geração da população sintética, sobretudo os baseados no domicílio. No final, são apresentados a teoria das redes livres de

escala e o conceito de *path dependence*, ambos presentes no processo de distribuição de viagens do Modelo GDA.

No capítulo três é explicada a estrutura do Modelo GDA. A plataforma computacional para o modelo é definida, bem como o nível de agregação dos dados, delimitado pelas Unidades Espaciais de Análise (UEAs). Os quatro módulos que compõem o modelo são detalhados, mostrando como se dá o processo de geração e distribuição de viagens. O formato dos dados de entrada e de saída de cada módulo, bem como a forma de interação entre estes dados, é abordado neste capítulo.

No capítulo quatro é caracterizada a área de estudo deste trabalho, que é a cidade de São Carlos (SP). Primeiramente é feita uma descrição geral da cidade, dos tipos de bases de dados usados e, a seguir, são detalhados os métodos de tratamento desses dados para inseri-los no modelo.

No quinto capítulo é relatada a aplicação do Modelo GDA e do modelo gravitacional na cidade de São Carlos (SP). Primeiramente é descrito o ajuste entre os dados de entrada e a estrutura de cada módulo do Modelo GDA, visando melhor adaptá-los às características do morador e do uso do solo observadas nesta cidade. Depois é mostrada a aplicação de dois tipos de modelos gravitacionais na cidade de São Carlos (SP), cujo processo contou com o auxílio do SIG TransCAD. De modo geral, são especificados os dados de entrada que foram usados nos modelos GDA e gravitacional, além dos critérios de interação espacial usados na distribuição de viagens em cada tipo de modelo.

No sexto capítulo as estimativas obtidas pelo Modelo GDA são apresentadas e analisadas. É descrita uma análise comparativa, na qual as estimativas do Modelo GDA são confrontadas com as do modelo gravitacional e com os dados observados. Foram analisadas a distribuição da distância de viagens, as matrizes Produção-Atração (PA) e as matrizes Origem-Destino (OD). A diferença entre estas duas matrizes reside no fato de que na matriz PA é representada a quantidade de viagens produzidas e atraídas para determinada zona, enquanto que na matriz OD é representado o fluxo de viagens entre uma determinada zona para demais zonas da área de estudo.

No sétimo capítulo são apresentadas as considerações finais deste trabalho. A hipótese definida na introdução é retomada e respondida conforme os resultados obtidos. Aborda-se também uma discussão geral sobre o desenvolvimento deste estudo. Por fim, são apresentadas sugestões para pesquisas futuras que possam dar continuidade ao trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica é estruturada nos três temas específicos desta tese:

(i) Modelos de geração e distribuição de viagens:

2.1 - Histórico sobre os modelos urbanos de transporte e uso do solo: Contextualização dos modelos baseados em agentes no planejamento de transportes.

(ii) Modelos baseados em agentes no planejamento de transportes

2.2 - Exemplos de modelos: Detalhamento dos modelos que serviram de base para o desenvolvimento do Modelo GDA.

(iii) Relação entre o morador e o uso do solo quanto à geração e distribuição de viagens intraurbanas

2.3 – Geração da população sintética baseada no domicílio: Apresentação do processo de geração da população sintética e os conceitos de domicílio e de morador considerados pelo Modelo GDA.

2.4 - Teorias alternativas para a distribuição de viagens: Caracterização das teorias das redes livres de escala e do *path dependence*, cujos conceitos foram usados para condicionar a distribuição de viagens no Modelo GDA.

Estes assuntos estão detalhados nas seções seguintes.

2.1 Histórico sobre os modelos urbanos de transporte e uso do solo

Os modelos urbanos são representações do sistema urbano real, com as configurações e as inter-relações entre seus componentes (p. ex.: pessoas, traçado viário, uso do solo, atividades diárias, como ir ao trabalho ou às compras), visando explorar um determinado problema e, desta forma, obter subsídios para solucioná-lo. Modelos de planejamento em transportes integrados ao uso do solo vêm sendo desenvolvidos desde a década de 1970, servindo-se da interdisciplinaridade para modelar o sistema urbano (WILSON, 1974; NOVAES, 1981; TORRENS, 2000).

Retratar a realidade por meio de modelos exige um esforço constante de racionalização do processo de coleta e manipulação de informações, além do conhecimento dos fatores relevantes e suas respectivas relações. Desta forma, ao longo dos anos, teorias e conceitos associados a diversas ciências, sobretudo a Matemática, a Estatística e a Sociologia, têm sido adotados na composição dos modelos, como forma de estreitar o que se estima com o que se observa no mundo real (NOVAES, 1981; PORTUGALI, 1999).

Tendo em vista que se trata da representação de um sistema, os modelos necessitam ter base em uma estruturação teórica, que estabelece as principais idéias, hipóteses, relações causais e pressupostos dos cenários que pretendem ser retratados no modelo. Nos trabalhos de Echenique (1975) e de Novaes (1981) são encontradas demais explicações sobre representações de sistemas.

Basicamente, os modelos de demanda de viagens são estruturados em quatro estimativas: geração de viagens, distribuição de viagens, escolha modal e alocação de fluxo, como ocorre, por exemplo, no Modelo Quatro Etapas (Four Step Model). Entretanto, o modo, a ordem e o nível de detalhamento em que se processam essas etapas variam de acordo com o tipo de modelo. Nesta pesquisa, considera-se a geração e distribuição de viagens como componentes da demanda de viagens, similar à classificação adotada em Hutchinson (1979).

Para a redação deste histórico, foram selecionados trabalhos que trazem informações pertinentes para fundamentar as premissas teóricas consideradas nesta pesquisa. Logo, a intenção aqui é selecionar alguns estudos que descrevem uma evolução histórica desde os primeiros modelos com base gravitacional até os modelos baseados em agentes.

2.1.1 Teorias iniciais

Os primeiros modelos para o planejamento dos transportes foram desenvolvidos na década de 1950, voltados para a distribuição de viagens e fundamentados na estatística, nas relações matemáticas e nas analogias gravitacionais. Naquela época surgiu a primeira versão do Modelo Quatro Etapas, do qual um dos dados de saída é a estimativa de uma matriz Origem-Destino (OD) para a área de estudo. As matrizes Origem-Destino são arranjos de dados em m linhas e n colunas, nos quais cada linha m é referente à origem do deslocamento e cada coluna n é referente ao destino de deslocamento, sendo que o valor da célula (m, n) a estimativa da quantidade de viagens referente ao par OD com origem m e destino n .

Entretanto, por não interagirem com o uso do solo e por possuírem uma estrutura de processo de informações unidirecional, ou seja, não permitindo uma retroalimentação de dados com as etapas anteriores, o modelo Quatro Etapas sofreu modificações para tentar mitigar estas deficiências. (NOVAES, 1981; BTE, 1998; MCNALLY, 2000).

Nos anos de 1960 surgiram os modelos que incorporaram a escolha modal dos usuários de modo desagregado, com uma estrutura apoiada em conceitos da microeconomia. Logo, foram desenvolvidos os modelos de repartição modal com base comportamental, nos quais se consideram hipóteses sobre o padrão da escolha modal dos indivíduos baseadas no custo de utilização de um determinado modal. Como exemplo, são citados os modelos estocásticos de repartição modal, nos quais é utilizada a análise *Logit* para estimar as probabilidades dos usuários escolherem um determinado modal. Posteriormente esta análise foi associada ao modelo de Quatro Etapas no procedimento da escolha modal (HUTCHINSON, 1979; BTE, 1998; MCNALLY, 2000; CHANG, 2006).

Por fim, na década de 1970 apareceram os modelos de transporte integrados ao uso do solo, que consideravam a influência dos tipos de usos do solo na configuração das viagens, tanto na escolha modal quanto na distribuição das viagens. Estes modelos usavam os conceitos de interação espacial desenvolvidos por Lowry (1964) e Wilson (1974), ambos utilizados no procedimento da geração e distribuição das viagens no modelo de Quatro Etapas. Lowry (1964) contribuiu para relacionar os tipos de uso do solo (usos residenciais e pólos de trabalho) com a geração e a distribuição de viagens. Já Wilson (1974) complementou o trabalho de Lowry (1964) e inseriu o conceito da maximização da entropia do sistema, ou seja, detectar, a partir da Probabilidade, as configurações de distribuição de viagens mais prováveis de ocorrer no sistema modelado.

2.1.2 Modelos gravitacionais

Os modelos gravitacionais são os que usam uma analogia à Lei da Gravitação Universal de Newton para explicar a distribuição de viagens. Basicamente, admite-se que “corpos com grande massa”, como áreas metropolitanas, por exemplo, atraem um maior número de pessoas do que “corpos com pequena massa”, como cidades de pequeno ou médio porte. O conceito de “massa” pode ser representado por outros fatores, como população e oportunidades de empregos. Também é considerada nestes modelos a influência de fatores exógenos no comportamento da decisão de viagem, como distância e custo de viagem. A forma geral do modelo gravitacional é descrita na Equação (1),

$$T_{ij} = \frac{\alpha P_i P_j}{d_{ij}^2} \quad (1)$$

em que T_{ij} são as viagens estimadas da zona i para a zona j , P_i e P_j representam, respectivamente, as populações das zonas de origem i e de destino j , d_{ij} é a distância entre as zonas i e j , e α é uma constante usada para calibrar o modelo.

Visando aprimorar o modelo, foi considerada uma função decrescente para estimar o efeito da distância ou do custo no processo de distribuição das viagens. Logo, o modelo foi reescrito conforme a Equação (2),

$$T_{ij} = \alpha O_i D_j f(c_{ij}) \quad (2)$$

em que O_i e D_j representam a produção e a atração de viagens, respectivamente. Já $f(c_{ij})$ é a função do custo de viagem, também chamada de fator de fricção. Conforme o tipo de função, este fator usa um ou mais parâmetros de ajuste. Com base em estudos de caso, foram definidas três funções básicas, apresentadas nas Equações (3) a (5),

$$f(c_{ij}) = \exp(-\beta c_{ij}) \quad \text{Função exponencial} \quad (3)$$

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n} \quad \text{Função potência} \quad (4)$$

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n} \exp(-\beta c_{ij}) \quad \text{Função combinada ou função gama} \quad (5)$$

em que c_{ij} é a variável que caracteriza o custo de viagem, e n e β são parâmetros de calibração. A variável do custo de viagem pode ser representada, por exemplo, por distância de viagem, tempo gasto ou custo monetário.

O modelo gravitacional pode ser de quatro tipos: (i) restrungido no vetor Produção, quando se conhece a origem dos deslocamentos; (ii) restrungido no vetor Atração, quando se conhece o destino dos deslocamentos; (iii) duplamente restrungido, nos vetores Produção e Atração, quando se conhece a origem e o destino dos deslocamentos; (iv) não restrungido, quando não há informações nem da origem e nem do destino dos deslocamentos.

No tipo duplamente restrungido, o modelo é escrito conforme a Equação (6),

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j f(c_{ij}) \quad (6)$$

em que A_i e B_j são parâmetros de calibração associados aos vetores Produção e Atração, respectivamente. Logo, no modelo duplamente restrungido, estes parâmetros são estimados por um processo iterativo, definido pelas Equações (7) e (8).

$$A_i = \frac{I}{\sum_j B_j D_j f(c_{ij})} \quad (7)$$

$$B_j = \frac{I}{\sum_i A_i O_i f(c_{ij})} \quad (8)$$

Nos modelos restrungidos em um dos vetores, as viagens no vetor restrungido se mantêm constantes e as no vetor não restrungido são estimadas conforme o fator de fricção. O formato do modelo pode ser visualizado nas Equações (9) e (10),

$$T_{ij} = O_i \cdot \frac{D_j \cdot f(c_{ij})}{\sum_z D_z f(c_{ij})} \quad \text{Restringido no vetor Produção} \quad (9)$$

$$T_{ij} = D_j \cdot \frac{O_i \cdot f(c_{ij})}{\sum_z O_z f(c_{ij})} \quad \text{Restringido no vetor Atração} \quad (10)$$

em que z representa as zonas consideradas pelo modelo; O_z e D_z são as viagens produzidas e estimadas para todas as zonas do modelo.

Os modelos não restringidos são os que dispõem da mínima informação possível sobre a distribuição das viagens, não contando com dados de produção e de atração. Nestes casos, o método de maximização da entropia (WILSON, 1974) é usado para estimar a atratividade das viagens nas zonas, tanto para a produção quanto para atração, calculando uma série de configurações de matrizes Origem-Destino (OD) para identificar a matriz com maior probabilidade de retratar a distribuição de viagens.

Um maior detalhamento sobre os modelos gravitacionais pode ser encontrado em Bruton (1979), Hutchinson (1979), Ortúzar e Willumsen (1994) e BTE (1998).

2.1.3 Reestruturação dos modelos

Na década de 1970 os modelos passaram por um descrédito, tanto na comunidade científica quanto nos órgãos gestores, devido, sobretudo, à falta de operacionalidade das teorias propostas e às falhas nos resultados das aplicações (LEE, 1973). De qualquer forma as pesquisas sobre modelos urbanos continuaram, procurando subsidiar soluções para problemas mais específicos no planejamento urbano e de transportes (HUTCHINSON, 1979; NOVAES, 1981; PUTNAM, 1983; BTE, 1998; MCNALLY, 2000; CHANG, 2006).

De fato, os modelos apresentavam uma grande discrepância entre a fundamentação teórica e a realidade observada. Isto levou os pesquisadores a explorar estruturas de modelagem na qual pudessem contemplar a complexidade do sistema, tanto nos seus componentes quanto nas suas interações. Ao contrário dos primeiros, que procuraram capturar o sistema como um componente único, os modelos apresentados a seguir foram estruturados em subsistemas, ou seja, constituídos por diversos componentes de base, cujo objetivo é retratar a realidade no nível necessário de desagregação requerida para o problema em questão. Esta mudança na estruturação dos modelos estabelece uma analogia com os conceitos de *top-down* e de *bottom-up*, ambos métodos de análise da informação usados em diversas áreas, sobretudo na Informática, na Sociologia, na Biologia e na Ecologia (BERLING-WOLFF e WU, 2004).

O conceito *top-down* é associado a modelos nos quais os sistemas são formulados de forma única e compacta, sem detalhar os subníveis que os compõem, cujas interações entre seus componentes são fundamentadas por um único conjunto de regras que coordenam todo o sistema. Um exemplo da estruturação *top-down* é o Modelo de Quatro Etapas, no

qual cada procedimento é executado com o auxílio de “caixas-preta” (*black-boxes*), ou seja, estruturas nas quais a execução do algoritmo pré-estabelece respostas para os diversos tipos de solicitações, não permitindo a reformulação destas respostas de acordo com os resultados obtidos em cada etapa (NOVAES, 1981). Além disto, mesmo que o sistema urbano possua componentes associados a uma estrutura *top-down*, como, por exemplo, a atuação dos órgãos gestores e a legislação urbana vigente, os subsistemas que o compõem, como pessoas, traçado viário, edificações e atividades, exercem uma atuação determinante na ordenação do sistema, não podendo ser ignorados no processo de modelagem (MCNALLY, 2000; JOHNSON, 2004).

Desta forma, muitos sistemas passaram a ser abordados pelo conceito *bottom-up*, cujo princípio de modelagem é que cada um de seus componentes é encarado como um subsistema com comportamento próprio e que a interação destes subsistemas explica o comportamento global da realidade considerada pelo modelo. Nos modelos com estrutura *bottom-up*, conceitos de Emergência³ e Auto-organização⁴ são explorados tanto no arcabouço teórico quanto nas ferramentas para processamento e análise dos dados (PORTUGALI, 1999; MIKHAILOV e CLENBUHR, 2002; JOHNSON, 2004; FRASERA *et al.*, 2006). Alguns desses modelos são abordados nas seções seguintes.

³ A noção de Emergência é a definida na Teoria dos Sistemas, ou seja, o comportamento global de um sistema que provém da interação das suas partes individuais (RENNARD, 2000).

⁴ É usado neste trabalho o conceito de Auto-organização para o planejamento urbano, que considera a ordenação urbana submetida às interações de diversas forças atuantes em conjunto, não existindo uma única força única capaz de controlar a cidade como um todo (ALFASI e PORTUGALI, 2007).

2.1.4 Modelo baseados em atividades

Já no final da década de 1980 foram desenvolvidos os modelos baseados em atividades os quais estimam o padrão de deslocamento dos indivíduos a partir das atividades que eles desempenham (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985; ORTÚZAR e WILLUMSEN, 1994; JOVICIC, 2001). Logo, para definir estas atividades é necessário considerar fatores relacionados à localização do destino da viagem, ao tempo de deslocamento e à quantidade de viagens necessárias para realizar tais atividades.

Uma atividade pode ser definida pelo engajamento do indivíduo em algo que satisfaz sua necessidade ou a necessidade do grupo (familiar ou não) no qual ele está inserido. As atividades são motivadas por razões econômicas, fisiológicas ou sociais do indivíduo e são agrupadas em categorias: trabalho, estudo, compras, lazer, entre outras. A escolha individual para realizar uma determinada atividade é fruto de uma interação entre: a responsabilidade do indivíduo na estrutura domiciliar; o estilo de vida do indivíduo e do seu grupo; as opções disponíveis com relação aos tipos de atividade, local e duração; a otimização da ordem de realização das atividades; e as restrições de tempo e de distância de viagem (JOVICIC, 2001).

Quanto à base teórica, a estimativa da demanda baseada em atividades tem como ponto de partida os trabalhos de Hägerstrand (1970) e Chapin (1971). Hägerstrand (1970) coloca que as atividades são limitadas pelas restrições individuais e sociais. Ele divide as restrições em: restrições individuais: p. ex, a necessidade de comer ou de dormir; restrições do grupo social: p. ex., para viabilizar uma refeição em família é necessário que os membros estejam no mesmo lugar num mesmo horário; e restrições sociais: p. ex., o período de tempo que os estabelecimentos comerciais estão em funcionamento. Assim, o autor exemplifica estas restrições em um losango de espaço-tempo, cuja forma é em função do tempo, da localização e do modo de transporte. Estes losangos são ilustrados na Figura 2.1 e, ao observar a figura, nota-se que quanto maior é a área do losango, maior a mobilidade que o modal oferece ao usuário. Por fim, o autor conclui que, dependendo do horário do dia e do destino, as viagens podem ser consideradas como ações derivadas da necessidade de participar de uma determinada atividade.

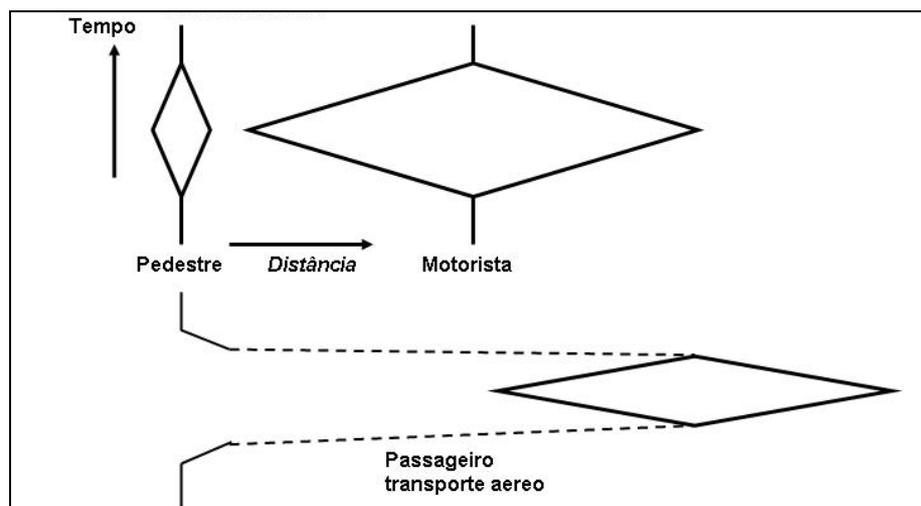


Figura 2.1 – Losango espaço-tempo. Adaptado de Hägerstrand (1970)

Já para Chapin (1971), a estimativa de demanda de viagens está mais associada às oportunidades do que às restrições. O autor posiciona que as atividades dependem das necessidades básicas do indivíduo, como o instinto de sobrevivência, o convívio social e o reconhecimento da sua existência pelos demais, as quais são supridas pelo acesso às oportunidades. Logo, de acordo com o nível de satisfação destas necessidades, avalia-se a qualidade de vida do indivíduo, a qual resulta em padrões de atividade e de conseqüentes deslocamentos diários.

Quanto à metodologia, os modelos baseados em atividades incorporam conceitos de microeconomia, sobretudo quanto à maximização da utilidade. A função de utilidade mais usada é o Modelo de Utilidade Aleatória (*Random Utility Models – RUM*), que define que a utilidade do consumidor i ao escolher a opção k é composta por um componente determinístico, $V'k$, e por um componente não observável ε . O componente determinístico representa a utilidade média Xk da alternativa k para o indivíduo i considerando suas características socioeconômicas Si . O componente não observável ε representa a utilidade particular $X'k$ da alternativa k para o indivíduo i considerando suas características socioeconômicas $S'i$. A função de utilidade aleatória é definida na Equação (11),

$$Uk = V'k(Xk, Si) + \varepsilon(X'k, S'i) \quad (11)$$

em que Xk e $X'k$ contêm, respectivamente, atributos observáveis e não-observáveis da alternativa k . O componente não-observável do *RUM* busca estimar a subjetividade das escolhas do comportamento humano, cujo padrão não é uniforme para todos os indivíduos, mesmo que eles estejam sujeitos às mesmas facilidades e/ou restrições de deslocamento.

Na literatura, os modelos de maximização da utilidade como o *RUM* são geralmente usados para a modelagem de repartição modal (HUTCHINSON, 1979). Neste caso, o *RUM* é usado para escolher o modal que maximiza a utilidade do usuário em relação aos demais modais disponíveis. Para esta escolha, o modelo considera o custo da viagem, que pode ser expresso, pelo custo monetário, tempo, energia e/ou distância necessários para a realização de determinada atividade.

Na Tabela 2.1 encontra-se uma comparação entre as notações dos principais componentes do *RUM* e os seus respectivos significados conforme o modelo associado a essa função de utilidade. Maiores informações sobre os modelos mencionados na Tabela 2.1 são indicados na seção 2.2 (Exemplos de modelos).

Tabela 2.1 – Comparação entre as notações do *RUM* nos modelos de transportes

<i>Notação</i>	<i>Significado</i>	<i>Modelo</i>
i	Consumidor; indivíduo	<i>RUM_i</i>
	Zona Origem	Modelo gravitacional
	Plano de atividades do indivíduo	<i>MATSim</i>
j	Demais opções de escolha	Modelo Multiagente de cognição espacial
	Zona Destino	Modelo gravitacional
k	Opções, escolhas	<i>RUM</i>
	Escala temporal	<i>MATSim</i>
V_{ik}	Utilidade média da opção k	<i>RUM</i>
	Performance do plano (V_{perf})	<i>MATSim</i>
ε	Utilidade particular da escolha k para o indivíduo i - Componente aleatório e variável de acordo com indivíduo i	<i>RUM, MATSim</i>

2.1.5 Microssimulação e Geossimulação

A partir da década de 1990, os modelos de transporte começaram a ser elaborados com base na microssimulação, ou seja, por uma estrutura de modelagem em que os componentes do sistema e suas respectivas interações são representados por um grau elevado de detalhamento. Apesar de exigirem um maior número de dados desagregados, a microssimulação vem sendo cada vez mais usada nos modelos de transportes, pois permite agregar as características individuais dos usuários (BAZZAN e KLÜGL, 2007).

Por conseguinte, os modelos começaram a incorporar um conjunto de técnicas de processamento e análise de dados inspirado em conceitos multidisciplinares, provenientes, sobretudo, da Biologia, da Física, da Matemática e da Informática. Estas técnicas são denominadas na literatura como “técnicas emergentes”, pois aderem conceitos *bottom-up* tanto na sua fundamentação teórica quanto na computação e análise dos dados. Exemplos de técnicas emergentes são os Autômatos Celulares, a Microssimulação e os Modelos baseados em agentes. (DHINGRA e SHRIVASTAVA, 1999; RAMOS e SILVA, 2002; SILVA *et al.*, 2004).

Com o avanço da informática, sobretudo com o desenvolvimento da computação gráfica e da capacidade de armazenamento de dados, os modelos passaram a contar com as potencialidades dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Ao serem aplicadas em estudos no planejamento urbano e de transportes, as técnicas emergentes foram integradas aos SIG, formando um conjunto de ferramentas para o desenvolvimento dos modelos de estrutura *bottom-up* (DRUCK *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2004).

Dentre as funcionalidades dos SIG, as operações baseadas nos atributos da célula (*cell-based operations*), como a álgebra de mapas, por exemplo, eram o artifício mais utilizado para a modelagem das mudanças de uso do solo. A álgebra de mapas utiliza operações em um nível local (nas células), cujas funções englobam a Aritmética e a Estatística, fornecendo como dado de saída um mapa com o resultado final destas operações (BATTY e JIANG, 1999). Entretanto, devido à falta de uma escala temporal e limitações nas relações de vizinhança, foram desenvolvidas abordagens que consideram a análise espacial e temporal de modo simultâneo. Logo, surge o conceito da Geossimulação: uma abordagem que integra teorias e técnicas ligadas à simulação de fenômenos temporais e Tecnologias da Geoinformação, sobretudo os SIG, como suporte do ambiente de simulação (TORRENS, 2004).

Como consequência, os modelos de Autômatos Celulares (AC) foram desenvolvidos com o objetivo de aperfeiçoar a simulação espacial de fenômenos dinâmicos, sobretudo acerca das relações de vizinhança entre as células. Logo, por meio de simulações, os modelos AC interpretam as interações entre as células ao longo do tempo, servindo-se de conceitos ligados à modelagem de fenômenos dinâmicos, como a idéia do estado inicial do sistema, a noção de regras de transição de acordo com determinadas condições de interação e a consideração de uma escala temporal. Dentre as diversas aplicações dos modelos AC em estudos urbanos, destacam-se os que abordam a dinâmica da mudança do uso do solo (WHITE e ENGELEN, 1994; BATTY, 1998; BESUSSI, CECCHINI e RINALDI, 1998; WEBSTER e WU, 1999; SILVA e CLARKE, 2002), a expansão do crescimento urbano (CECCHINI, 1996; O'SULLIVAN e TORRENS, 2000; ALMEIDA *et al.*, 2002; LI, YANG e LIU, 2008) e a segregação espacial (OMER e PORTUGALI, 1999).

Contudo, Batty e Jiang (1999) levantaram o fato de que, nos modelos AC, as operações num ambiente celular discreto sofrem uma severa simplificação em comparação com a realidade que está sendo simulada. Logo, pensar no espaço geográfico representado apenas por células regulares impõe dificuldades na interpretação dos fenômenos, sobretudo quanto à necessidade de configurar, para cada célula, mais de uma regra de transição ou mais de um estado. Portanto, para implementar essas extensões, mantendo as operações locais entre as células, foi necessária a criação de uma nova classe de objetos associadas ao ambiente de simulação.

2.1.6 Modelos baseados em agentes e simulação multiagente

Os Sistemas Multiagentes (SMA) foram aplicados para remediar as limitações intrínsecas aos modelos AC quanto à simplificação do espaço de simulação e às regras de transição. Os SMA são estruturados na idéia do agente, que é uma entidade computacional que pode perceber e atuar no ambiente conforme a configuração do seu comportamento e as circunstâncias oferecidas por este ambiente, com a finalidade de atingir um objetivo. Os SMA são aplicados na simulação de fenômenos em diversas áreas do conhecimento como a Informática, a Sociologia, a Biologia e a Engenharia (SINGH, 1991; D'INVERNO e LUCK, 1998; WEISS, 1999; WOOLDRIDGE, 1999; 2002; LEI e HUI, 2006; SUN, 2006; GRIGOLETTI, 2007).

Quando o SMA é usado para estruturar o modelo de um fenômeno, no qual é feita uma analogia entre componentes da simulação e elementos do mundo real, é mais apropriado dizer que este modelo é baseado em agentes (*Agent-Based Models – ABM*) em vez de classificá-lo como um modelo multiagente. O termo “sistemas multiagentes” se refere à área da Ciência da Computação e da Inteligência Artificial Distribuída (IAD). Já o termo “modelos baseados em agentes” provém de uma aplicação do conceito do agente para o estudo de sociedades artificiais em diversas áreas do conhecimento. O SMA diz respeito ao estudo de “sociedades de agentes autônomos artificiais”, já o *ABM* aborda o estudo de “sociedades artificiais de agentes autônomos”. Ou seja, no SMA o agente é uma entidade computacional autônoma que têm objetivos e capacidades para realizar uma determinada tarefa, tratando-se de uma abordagem mais genérica do sistema. No *ABM* o agente representa um ator da sociedade artificial, como pessoas, átomos ou células, e seus objetivos e capacidades estão associados às características desta sociedade no mundo real, caracterizando uma abordagem específica do uso do SMA (CONTE, GILBERT e SICHMAN, 1998).

Ao contrário dos demais modelos em transporte que possuem uma organização *top-down*, ou seja, que procuram modelar o fenômeno considerando apenas os aspectos da sua configuração final, os modelos *ABM* seguem o sentido oposto, ou seja, uma organização *bottom-up* que procura modelar os componentes da base do fenômeno para estimar o comportamento final resultante. Para isto, estes modelos possuem uma base comportamental que define as ações do indivíduo (agente), a qual é estabelecida as interações com os demais agentes e com o ambiente.

Os modelos *ABM* servem para explorar a dinâmica de sistemas complexos, nos quais a interação entre os indivíduos compõe um comportamento final emergente. Devido ao seu recente desenvolvimento, pois os primeiros modelos foram publicados no final da década de 1990 (PARKER *et al.*, 2002), os modelos *ABM* possuem ainda incertezas quanto aos métodos estatísticos para calibração e validação, sendo mais apropriados para compreender a dinâmica de um determinado fenômeno do que para estimar comportamentos futuros. Desta forma, os modelos *ABM* têm um caráter mais exploratório do que preditivo. Devido ao aspecto desagregado dos componentes formadores do sistema de transporte, os modelos *ABM* vêm sendo explorados para estimar o fluxo de veículos e de pedestres. São encontradas também aplicações em *ITS (Intelligent Transport System)*, tráfego aéreo, padrões comportamentais de deslocamento e alocação de fluxo, sobretudo na área da microssimulação do tráfego (BERNHARDT, 2007). Na Figura 2.2 é ilustrada a abordagem do modelo *ABM* em sistemas complexos.

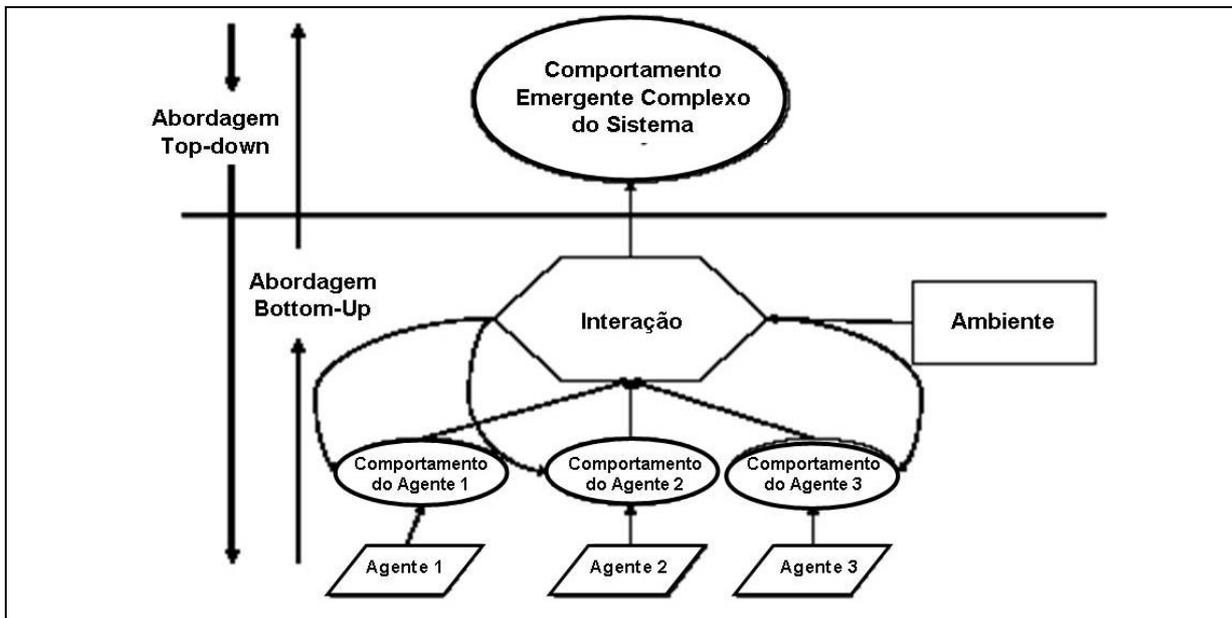


Figura 2.2 – Modelo *ABM* em sistemas complexos. Adaptado de Bernhardt (2007).

Estudos que aplicam o modelo *ABM* no planejamento são referências para esta pesquisa, sobretudo os que abordam a desagregação das decisões individuais (LOMBARDO, PETRI e ZOTTA, 2004; ARENTZE e TIMMERMANS, 2007) e as alocações do uso do solo urbano (BENENSON, ARONOVICH e NOAM, 2005; KATOSHEVSKI-CAVARI, 2007).

Quanto às plataformas computacionais, existem diversas que permitem o desenvolvimento de modelos *ABM*, diferenciando-as umas das outras pelo tipo de linguagem computacional empregada e requisitos para aquisição. Conforme será abordado no Capítulo 3, este trabalho adotou o programa computacional NetLogo, pois apresenta uma linguagem de programação de simples entendimento e que não requer uma prévia experiência do desenvolvedor, além de ser disponibilizado gratuitamente pela Internet (WILENSKY, 1999; BANDINI, MANZONI e VIZZARI, 2009). Estas vantagens fazem do NetLogo uma plataforma amplamente usada nos trabalhos acadêmicos que envolvem a microssimulação de fenômenos, dentre os quais se destacam os modelos *LUCC* (*Land Use Cover Change*) implementados em SMA e SIG (OUREDNIK e DESSEMONTET, 2007; DAMACEANU, 2008; DIAPPI e BOLCHI, 2008; LE *et al.*, 2008; LE, PARK e VLEK, 2010).

2.2 Exemplos de modelos

Para fundamentar a estrutura metodológica do Modelo GDA foram selecionados os seguintes modelos:

- 1) *UrbanSIM* (WADDELL, 2002): modelo de uso do solo e de transporte baseado em atividades que tem uma organização *bottom-up* de interpretação dos fenômenos, o mesmo tipo de interpretação explorado pelo Modelo GDA. Também foi estudado o processo de integração de diferentes bases de informação espacial usado por este modelo.
- 2) *ILUMASS* (STRAUCH *et al.*, 2005): modelo de microssimulação que, dentre outros atributos, possui um módulo de estimativa do plano de atividade dos moradores que serviu como base para o Modelo GDA;
- 3) *Modelo Multiagente de cognição espacial* (ARENTZE e TIMMERMANS, 2007): modelo de alocação do uso do solo baseado em escolhas individuais e em atividades, cujo método serviu para compor a estrutura das decisões individuais do Modelo GDA.
- 4) *MATSim* (FLÖTTERÖD, CHEN e NAGEL, 2010): modelo *ABM* que usa modelos de utilidade aleatória, cuja estrutura foi base para a construção do processo de escolha individual do Modelo GDA.

É apresentada a seguir uma descrição desses modelos, cujo objetivo é ressaltar apenas os tópicos que foram importantes para a construção do Modelo GDA.

2.2.1 *UrbanSIM*

O modelo *UrbanSIM* (*Urban Simulation*) foi projetado para analisar políticas de desenvolvimento de áreas metropolitanas considerando as interações entre transporte e uso do solo (WADDELL, 2002). O modelo está vinculado ao projeto *TLUMIP* (*Transportation and Land Use Model Integration Project*) do Departamento de Transportes do Estado de Oregon (EUA). Uma descrição geral da estrutura do modelo é mostrada na Figura 2.3.

Apesar de não se basear na microsimulação, este modelo foi selecionado como exemplo porque: aborda um processo *bottom-up* na interpretação das relações entre transporte e uso do solo; tem como base o modelo *RUM* para estimar as decisões individuais; e, mesmo possuindo um ambiente de simulação desagregado em célula, pode apresentar o resultado da simulação agregado em setores e/ou zonas. O modelo oferece diversos níveis de agregação espacial para os dados de saída, pois trabalha na unidade do domicílio, do quarteirão e também em uma grade quadricular com células de dimensões de 150 metros.

São usados como dados de entrada no modelo: parcelamento do solo; empregos; e dados sociodemográficos para caracterizar o comportamento de viagem, como a renda familiar, o tamanho da família, a idade do chefe de família, a presença de crianças no domicílio e número de trabalhadores no domicílio. A especificação e a integração destes dados estão ilustradas na Figura 2.4. A caracterização destas variáveis em Waddell (2002) serviu de base para a seleção dos dados utilizados para a formação e calibração do Modelo GDA.

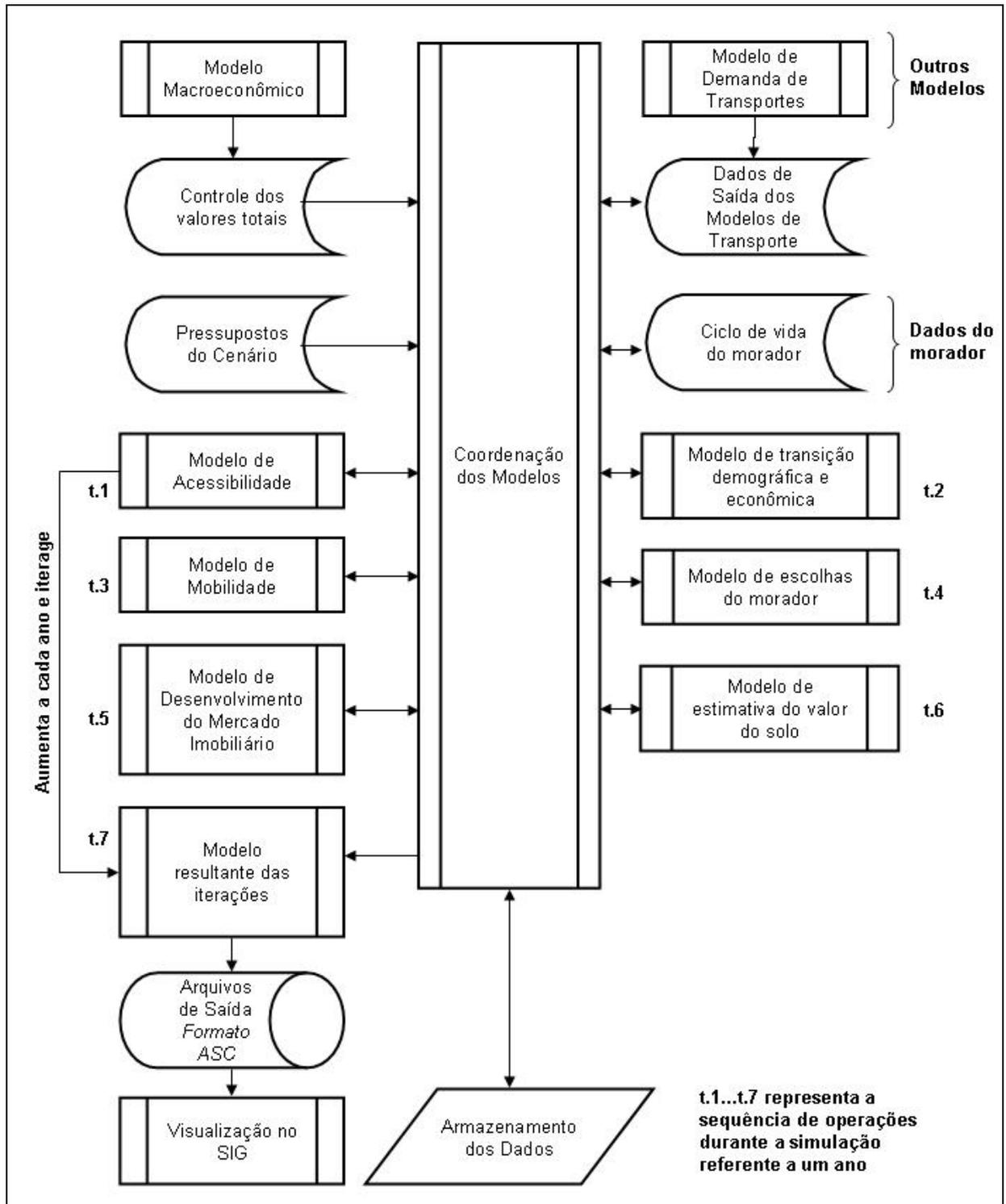


Figura 2.3 – Estrutura do modelo UrbanSim. Adaptado de Waddell (2002)

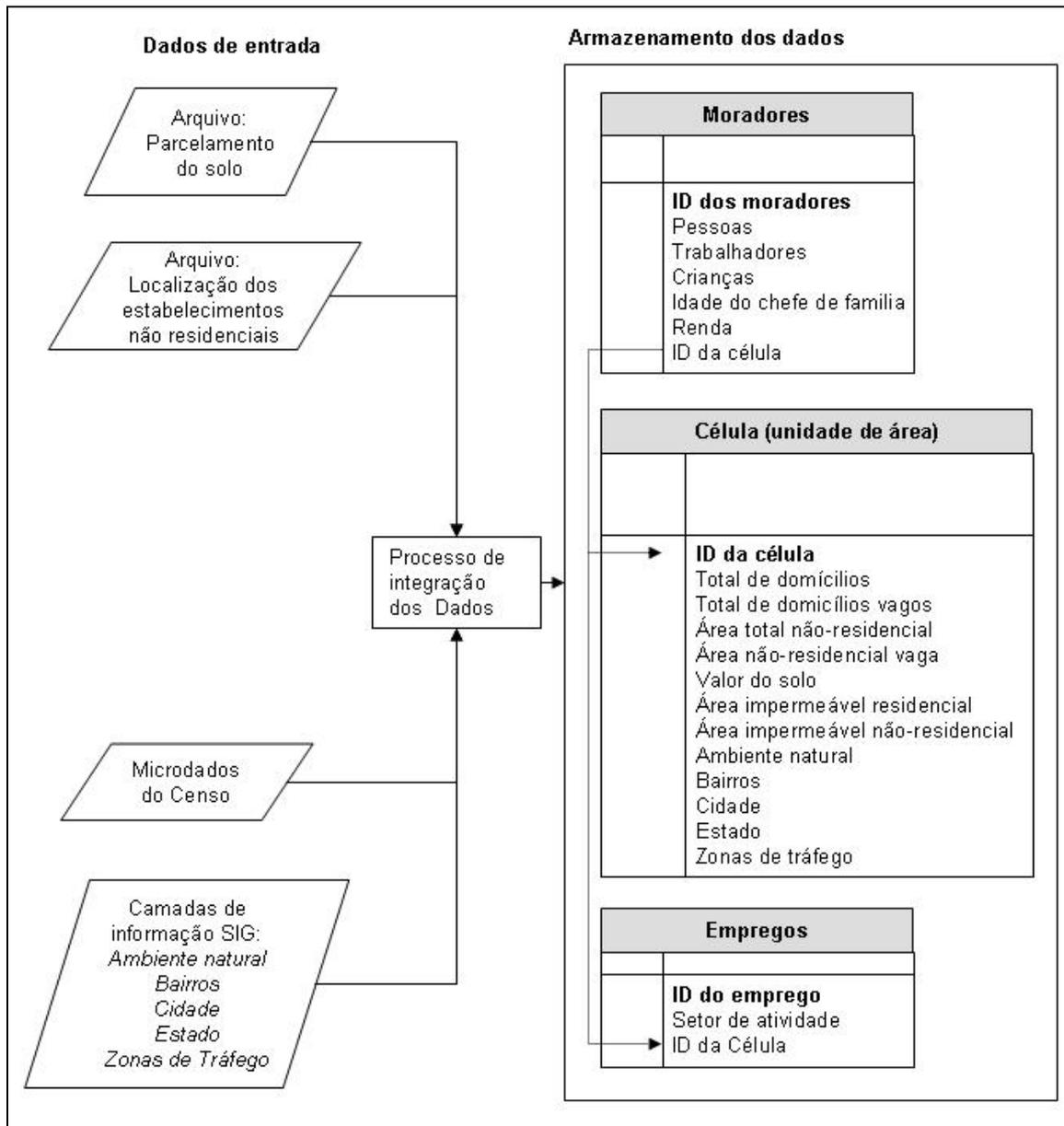


Figura 2.4 – Processo de integração dos dados no UrbamSim. Adaptado de Waddell (2002)

2.2.2 ILUMASS

O projeto *ILUMASS (Integrated Land-Use Modelling and Transportation System Simulation)* é um modelo de microssimulação dos fluxos do tráfego urbano que incorpora mudanças do uso do solo (STRAUCH *et al.*, 2005). O resultado é a avaliação de mudanças na demanda do transporte, bem como impactos no uso do solo e no meio-ambiente.

O modelo é estruturado em três módulos: Uso do solo, subdividido em modelos de desenvolvimento demográfico, de formação de famílias, de ciclo de vida das empresas, de construções residenciais e não residenciais e de mobilidade no mercado de trabalho e no mercado imobiliário; Transporte, que inclui modelos de padrões de atividades diárias dos moradores e de fluxos viários; Ambiente, que calcula os impactos ambientais do transporte e uso do solo, como o efeito estufa e a poluição atmosférica, sonora e visual.

A microssimulação é usada pelo modelo para estimar as atividades diárias e as matrizes Origem-Destino. Num primeiro momento, uma sequência de atividades diárias e semanais é estimada para cada indivíduo, na qual são considerados os atributos de sua execução, como duração, frequência, horário e possíveis locais. Numa segunda etapa, são estimadas as decisões individuais de acordo com as atividades em termos de longo, médio e curto prazo de execução.

Os padrões de atividade e os fatores que definem a estimativa da demanda adotada na microssimulação foi referência para elaborar os procedimentos de simulação do Modelo GDA. Uma descrição geral da estrutura do *ILUMASS* está ilustrada na Figura 2.5.

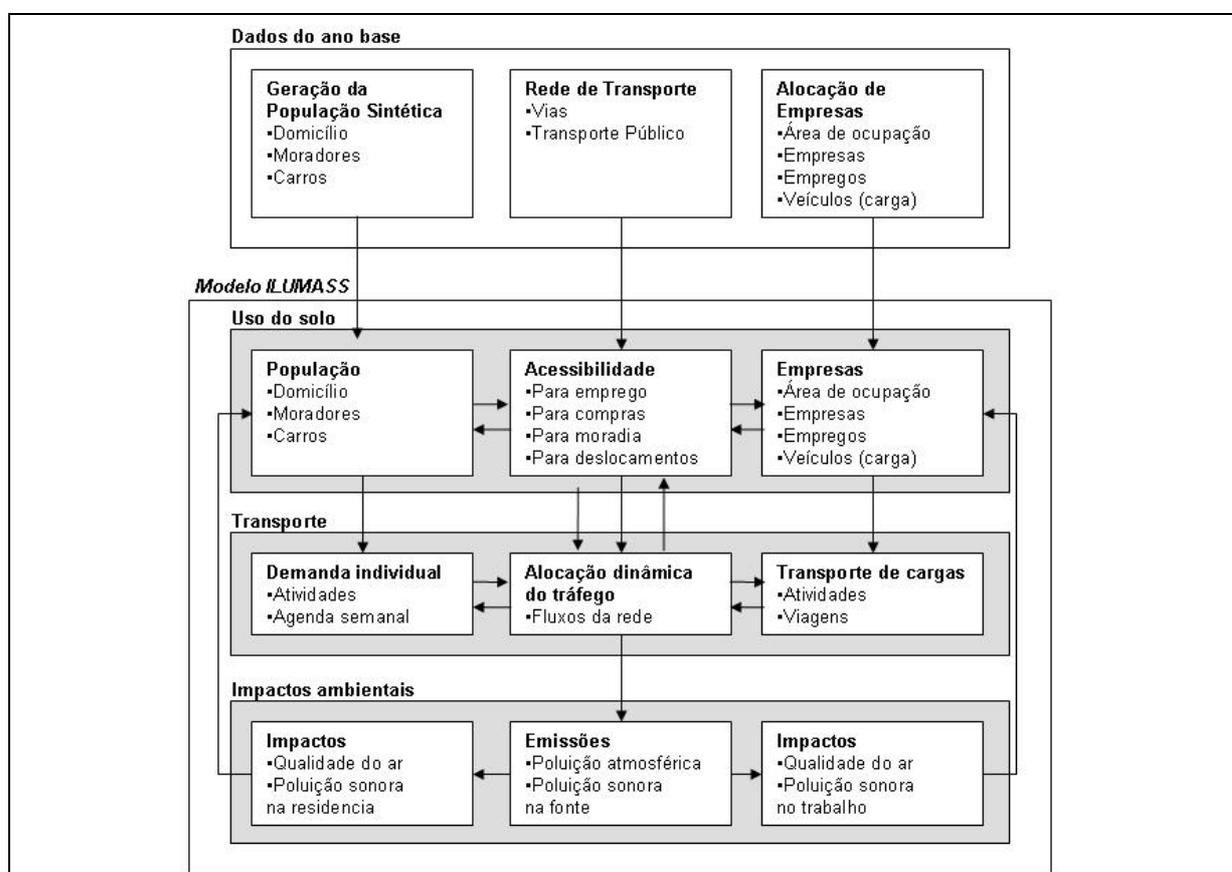


Figura 2.5 – Estrutura do modelo *ILUMASS*. Adaptado de Strauch *et al.* (2005)

2.2.3 Modelo Multiagente de cognição especial

É apresentada em Arentze e Timmermans (2007) uma estrutura de modelagem das decisões em planejamento urbano usando sistemas multiagentes. O objetivo deste modelo é estimar a alocação de áreas industriais, comerciais e residenciais em uma área urbana.

O modelo é formado por dois grupos de agentes: agentes que determinam a produção de viagens, que representam os moradores, cujas decisões seguem uma agenda de atividades que visam suprir suas necessidades particulares; e agentes que determinam a atração de viagens, que representam as áreas comerciais, industriais e de serviços.

O ambiente de simulação é configurado por uma grelha regular de células, na qual cada célula representa uma unidade de área, cujos atributos definem: as facilidades permitidas de acordo com o zoneamento, a população residente, e a população que trabalha naquele local. Desta forma, cada célula está associada a uma série de variáveis que determinam as mudanças de uso do solo. Estas mudanças ocorrem numa determinada escala temporal (anos ou décadas) de acordo com a dinâmica das atividades diárias dos moradores.

Um alto nível de desagregação do fenômeno é proposto no modelo, por meio das variáveis, dos processos interativos e das escalas temporais e espaciais. Como exemplo, na Tabela 2.2 encontram-se as variáveis consideradas apenas para a alocação das atividades. Nota-se o esforço para detalhar as interações entre os agentes da produção e atração de viagens no processo de alocação.

A unidade temporal adotada pelo modelo é de um dia, com a possibilidade de ser desagregado em períodos (manhã, tarde e noite) ou em horas. O detalhamento da concepção metodológica do modelo apresentado por Arentze e Timmermans (2007) serviu de referência para a elaboração do método de simulação do Modelo GDA.

Tabela 2.2 – Variáveis de alocação das atividades relacionadas à célula (ARENTZE e TIMMERMANS, 2007)

Notação	Descrição da variável
U	Uso do solo
A	Atividades que podem ser escolhidas pelos moradores
G	Características da produção de viagens
B	Estimativa da produção de viagens
H	Facilidades oferecidas
P_{ag}	Probabilidade da atividade a ($a \in A$) estar associada a uma produção de viagem g ($g \in G$)
P_{eg}	Probabilidade do morador selecionar determinada célula por um processo heurístico e para compor a produção de viagem g
U_b	Subgrupo de uso do solo que permite as facilidades requeridas para uma produção de viagem específica $b \in B$ ($U_b \subseteq U$)
G_h	Subgrupo das características de produção de viagem que satisfazem uma facilidade específica $h \in H$ ($G_h \subseteq G$)
H_b	Subgrupo de facilidades que pertencem a uma produção de viagem b ($H_b \subseteq H$)
U_l	Variáveis relacionadas ao plano de zoneamento
Sl_h	Variável relacionada às decisões dos agentes da atração de viagens; área ocupada pela facilidade h na célula l
$V_l g$	Número médio de visitantes por dia na célula l para satisfazer a produção de viagem g
$N_l i$	Número de indivíduos que residem na célula l

2.2.4 MATSim

O *MATSim* (*Multi-Agent Transport Simulation*) é um modelo implementado num programa computacional para o planejamento de transportes baseado em sistemas multiagentes. Dentre as funcionalidades oferecidas pelo programa estão as ferramentas para modelagem da demanda e para simulação do fluxo do tráfego. Em Flötteröod, Chen e Nagel (2010), é apresentado um método de calibração baseado nas condições de fluxo da rede viária, como os dados das contagens de tráfego.

O *MATSim* é estruturado em dois blocos, um para estimativa da produção de viagens e outro para atração de viagens. Cada agente da simulação tem um plano de atividades detalhado por: ordem da execução; tipo; local; duração; modo; rota; horário de saída; e tempo de deslocamento. A rota é calculada pelo algoritmo de Dijkstra (algoritmo do menor caminho), que tem como base o tempo de deslocamento de cada trecho.

A escolha do melhor plano para o agente é determinado pela pontuação da performance, cujo cálculo tem como base o modelo *RUM*. Logo, a escolha do melhor plano pelo agente é constituída por um componente determinístico e um componente aleatório. No componente determinístico, a performance do plano é medida pelo tempo de execução e pela avaliação da atividade, a qual considera as condições de execução (ex: tipo de atividade, local, rota de acesso) em relação às demais atividades disponíveis. Já o componente aleatório avalia o resultado desta escolha, considerando a estimativa de fluxo derivada da escolha do agente e comparando-a com contagens de tráfego reais feitas no local. No *MATSim*, a escolha do plano de atividade pelo agente, $P_n(i|y)$, segue a Equação (12),

$$P_n(i|y) \sim \exp\left(V(i) + \sum_{ak \in i} \frac{y_a(k) - q_a(k)}{\sigma_a^2(k)}\right) \sim \exp\left(V(i) + \sum_{ak \in i} \Delta V_a(k)\right) \quad (12)$$

em que $V(i)$ é o componente determinístico que corresponde à performance do plano i e $\Delta V_a(k)$ é o componente aleatório, o qual determina a calibração do modelo, e é composto por $y_a(k)$, que é a contagem estimada pelo modelo no trecho a e na hora k , $q_a(k)$, que é a contagem observada no trecho a na hora k ; e $\sigma_a^2(k)$ é a variância da contagem no trecho a , na hora k .

A base de calibração do modelo situa-se no componente aleatório do cálculo da performance do plano de atividades. No *MATSim* é introduzido o tempo na calibração, pois a comparação dos fluxos, observados e estimados, considera a hora da coleta dos dados.

No *MATSim*, o *RUM* é empregado para escolher o plano de atividade que detém a melhor performance, considerando as características do indivíduo que fez a escolha, o tempo da atividade, o custo marginal da atividade e o quanto este plano contribuiu favoravelmente para o resultado final do modelo. Ou seja, é verificado, para determinada hora, se os planos de atividades resultam em um montante de viagens semelhante ao observado nas contagens reais. São escolhidos, por meio do processo de calibração, os planos de atividade que melhor ajustam o modelo aos dados observados em uma determinada hora.

Analisando a Equação (12), é possível interpretar que a determinação do plano de atividades no *MATSim* é um processo *top-down*. O processo de calibração inserido na componente aleatória do modelo *RUM* é o que caracteriza este tipo de processo, pois a escolha do plano de atividades é subordinada aos dados observados de contagem de

tráfego, $q_a(k)$. Desta forma, o plano escolhido pelo agente será aquele que resultar em um menor desvio entre as contagens de fluxo de tráfego observadas e estimadas pelo modelo.

Ainda que seja um artifício coerente com os pressupostos teóricos estabelecidos pelo *MATSim*, estes dados de contagem não estabelecem uma causalidade com os fatores que determinam a escolha do morador por um determinado plano de atividades. Considerando que os deslocamentos diários são derivados dos planos de atividades, os padrões de mobilidade do morador estão arbitrariamente submetidos ao processo de calibração.

A estrutura *top-down* adotada pelo processo de calibração no *MATSim* contrapõe-se à estrutura *bottom-up* proposta pelo Modelo GDA. Ou seja, em vez de estabelecer uma regra geral (ex: contagem de tráfego) que rege os fenômenos subsequentes (ex: plano de atividade de cada morador), a proposta de modelagem desta pesquisa procura definir diversas regras que regem os elementos na base do fenômeno, configurando o seu comportamento emergente. Logo, na microescala, o plano de atividades e os deslocamentos diários são explicados a partir da interação entre as características do morador e do uso do solo, procurando, posteriormente, a interpretação da estimativa da demanda de viagens intraurbanas na macroescala. Desta forma, o Modelo GDA procura variáveis que caracterizam o nível microscópico do fenômeno e que possuem uma relação causal no processo de escolha individual.

2.3 Geração da população sintética baseada no domicílio

Uma população sintética⁵ é um conjunto de dados referentes a uma população artificial que, em termos estatísticos, representa a população real do fenômeno a ser simulado. A população sintética é elaborada a partir de métodos de expansão da amostra de dados acerca dos moradores e dos domicílios, gerando dados mais próximos possíveis das características observadas nas amostras dos levantamentos e que representa a totalidade da população.

A necessidade de elaborar uma população sintética provém dos modelos baseados em microssimulação. É focado nestes modelos o comportamento individual, sobretudo

⁵ Tradução livre do termo em inglês *Synthetic Population*.

quanto às escolhas em termos de opções disponíveis, desejos e restrições, fazendo com que dados desagregados sejam requeridos. Entretanto, para proteger informações particulares dos moradores, os levantamentos de dados da população são publicados de forma agregada, normalmente tendo como unidade uma área do local do levantamento, como o setor censitário, por exemplo. Desta forma, torna-se necessária a elaboração de um conjunto de dados mais detalhados sobre o comportamento individual que tenha o respaldo estatístico dos dados observados (MOECKEL, SPIEKERMANN e WEGENER, 2003).

O método estatístico de ajuste proporcional iterativo (*IPF – Iterative Proportional Fitting*), desenvolvido por Beckman, Baggerly e McKay (1996) é a base dos modelos de elaboração da população sintética. De um modo simplificado, o método consiste em estimar, para cada zona, grupos de domicílios classificados por características sociodemográficas, como número de moradores e relações de parentesco, por exemplo. O resultado é a estimativa do número total de domicílios separada em classes, como domicílios familiares e não familiares, por exemplo.

Para explicar o método, Beckman, Baggerly e McKay (1996) usaram os microdados do censo norte-americano (*PUMS – Public Use Microdata Samples*) em forma de matrizes, cujas células continham as contagens totais de população e domicílios por região. A estimativa de domicílios para cada região era obtida multiplicando o total de domicílios pela probabilidade da região comportar uma determinada porcentagem de unidades domiciliares. Esta probabilidade foi calculada com base nos microdados. No *IPF*, as células sem informação proveniente dos levantamentos não poderiam ficar com o valor zero. Assim, foi proposto atribuir um valor 0,1 ou 0,01 a estas células. Esta solução é criticada por outros pesquisadores, pois induz a distorções nas estimativas.

Além de ter que achar uma solução alternativa para as células sem informação foi necessário também estimar dados específicos do comportamento individual para a geração da população sintética, sobretudo para os modelos baseados em atividades. Desta forma, os estudos subsequentes propuseram melhoramentos no procedimento do *IPF*, além de métodos estatísticos para calibrar e validar os dados (MOECKEL, SPIEKERMANN e WEGENER, 2003; BOWMAN e ROUSSEAU, 2006; GUO e BHAT, 2007; AULD e MOHAMMADIAN, 2010; OTANI, SUGIKI e MIYAMOTO, 2010).

Para estimar o comportamento individual, as variáveis mais usadas são o gênero, a idade, a renda e a etnia. Entretanto, métodos recentes têm analisado a situação domiciliar do morador para definir as atividades diárias, considerando a relação entre os moradores e suas responsabilidades dentro do domicílio (MIYAMOTO *et al.*, 2010a; MIYAMOTO *et al.*, 2010b). Entende-se como situação domiciliar o papel do indivíduo na unidade domiciliar,

seja um domicílio com base familiar ou não. Na base familiar encontram-se as situações de chefe de família, cônjuge, filhos e agregados. Já na base não familiar muitas vezes os indivíduos não mantêm relações de dependência, sendo todos considerados chefes do domicílio, como nas residências estudantis, por exemplo.

Logo, presume-se que indivíduos com idade, gênero e renda iguais podem desempenhar atividades diárias diferentes por causa da sua situação domiciliar. Esta hipótese fundamenta-se na teoria microeconômica baseada no domicílio, que observa o comportamento da unidade domiciliar quanto às influências na macroeconomia (BECKER, 1974; BECKER, 1993). Nesta teoria, a unidade domiciliar, sobretudo a família, procura maximizar o bem-estar considerando a unidade como um todo, comparando custos e benefícios coletivos.

Portanto, o trabalho de Miyamoto *et al.* (2010a; 2010b) e a consideração do domicílio como unidade de tomada de decisões configuram a base do método de geração de população sintética desenvolvido para o Modelo GDA.

2.4 Teorias alternativas para distribuição de viagens

Nesta pesquisa são experimentados a estrutura das redes livres de escala e o conceito de *path-dependence* para modelar a distribuição das viagens intraurbanas. O objetivo é explorar um método alternativo à analogia da força gravitacional para explicar a produção e atração de viagens.

A estrutura de uma rede é um conjunto de pontos, chamados vértices, conectados entre si por conexões, chamadas arcos. Por meio destes arcos, fluxos de informações são estabelecidos entre os vértices. Diversos sistemas do mundo real são representados por redes, como exemplos: as relações sociais, nas quais os indivíduos são interligados por meio de vínculos de amizade ou parentesco; a Internet, na qual os *sites* estão interligados entre si e aos usuários a partir dos *links*; e os sistemas de transporte, nos quais os locais de origem e de destino de viagem estão interligados por meio de elementos da infra-estrutura de mobilidade, como as vias urbanas e rodovias.

As redes podem ser dirigidas (*directed*) ou não-dirigidas (*indirected*)⁶. Nas conexões das redes dirigidas são permitidos fluxos de informações apenas em um sentido; já nas conexões das redes não-dirigidas são permitidas trocas de informações nos dois sentidos. Logo, os arcos das redes dirigidas possuem uma seta que indica um único sentido do fluxo de informações, enquanto que os arcos das redes não-dirigidas possuem duas setas que indicam o fluxo de informação nos dois sentidos.

O grau (*degree*) de cada vértice é o número de linhas conectadas a ele. Nas conexões dirigidas diferenciam-se as ligações que incidem no vértice (*in-degree*) e as que partem do vértice (*out-degree*). Já nas conexões não-dirigidas os vértices contabilizam os dois sentidos do arco, o que o incide e o que parte dele. Exemplos de redes com diferentes tipos de vértices e de conexões podem ser visualizadas na Figura 2.6.

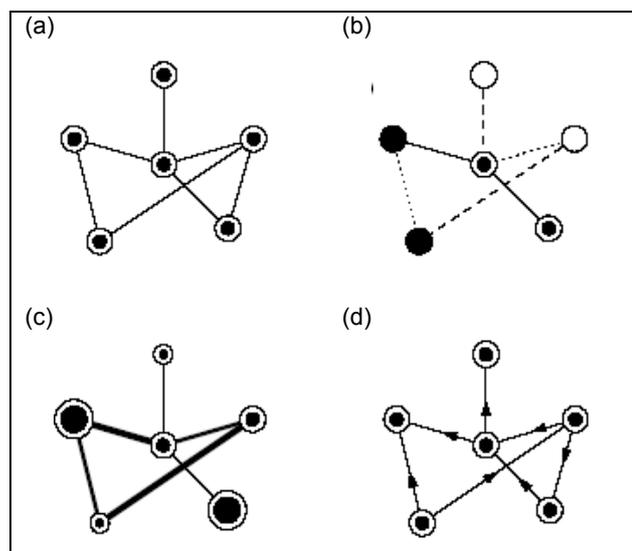


Figura 2.6 – Exemplo de tipos de redes: (a) uma rede não-dirigida com apenas um único tipo de vértice e um único tipo de arco; (b) uma rede com diferentes tipos de vértices e de arcos; (c) uma rede com diferentes pesos para os vértices e para os arcos; uma rede dirigida, na qual está indicado o sentido das fluxos de informações a partir de setas. Adaptado de Newman (2003).

De uma forma geral, as redes são analisadas por medidas de centralidade, que representa o nível de influência ou de importância de cada vértice quanto ao número de

⁶ Como a teoria das redes está relacionada à teoria de grafos, os termos “dirigida e não-dirigida” (FURTADO, 1973) usados para classificar as redes estão associados aos termos “orientada e não-orientada” (BOAVENTURA_NETTO, 1979) da teoria dos grafos.

conexões que ele possui; e de conectividade, que representa como e com que distância cada vértice está conectado aos outros na rede.

Com a recente facilidade tecnológica em coletar e armazenar um grande número de dados referentes às redes do mundo real, começaram a ser desenvolvidos estudos com redes de grande escala (*large scale networks*). Devido à sua grande extensão, que dificulta a análise apenas na representação gráfica, as medidas de centralidade e de conectividade das redes de grande escala baseiam-se em propriedades estatísticas provenientes do estudo das redes complexas (BEN-NAIM, FRAUENFELDER e TOROCZKAI, 2004; COHEN e HAVLIN, 2010).

Na década de 1960 as redes complexas eram tratadas como redes aleatórias (*random network*), ou seja, os vértices tinham iguais chances de conectar-se com demais vértices e as conexões eram alocadas de forma aleatória (ERDŐS e RÉNYI, 1959). A distribuição das conexões em redes aleatórias segue uma função de Poisson em forma de sino, que mostra a maior parte dos vértices com o número de conexões ao redor da média e alguns vértices com quantidade de conexões acima ou abaixo da média.

Porém, na década de 2000, ao investigar as redes do mundo real, verificou-se que a sua estrutura não combinava com a das redes aleatórias, pois grande parte das conexões se concentravam em um pequeno número de vértices, ao contrário dos pressupostos da rede aleatória, que previa o número de conexões da maior parte dos vértices ao redor de um valor médio. Nestas redes reais observadas, a distribuição das conexões seguia uma função potência, na qual a probabilidade dos vértices da rede terem k conexões é proporcional a $k^{-\alpha}$. Desta forma, quanto maior for a quantidade de conexões de um determinado vértice, menor é a probabilidade de encontrar outro vértice na rede com este mesmo número de conexões. Este tipo de rede é chamado de redes livres de escala (*scale free network*), pois a curva da distribuição das conexões dos vértices na rede permanece inalterada mesmo com um fator multiplicativo na variável independente, ou seja, $f(x) = f(ax) = bf(x)$. O modelo usual para as redes livres de escala segue a Equação (13),

$$P(k) \sim k^{-\alpha} \quad (13)$$

em que o valor de α é entre 2 e 3 (BARABASI e ALBERT, 1999; BIANCONI e BARABASI, 2001; BARABASI, 2002; BARABASI e BONABEAU, 2003; NEWMAN, 2003).

Na Figura 2.7 encontram-se curvas de distribuição de conexões de redes reais com características de redes livres de escala, nas quais se observam a maior parte das conexões da rede concentradas em um pequeno número de vértices. Logo, associando ao

significado destes exemplos, percebe-se que: existem apenas algumas páginas da internet que concentram a maior parte dos acessos; há um pequeno grupo de atores que estão presentes na maior parte dos filmes lançados em determinada época; e apenas alguns artigos são referência para determinada área, detendo o maior número de citações.

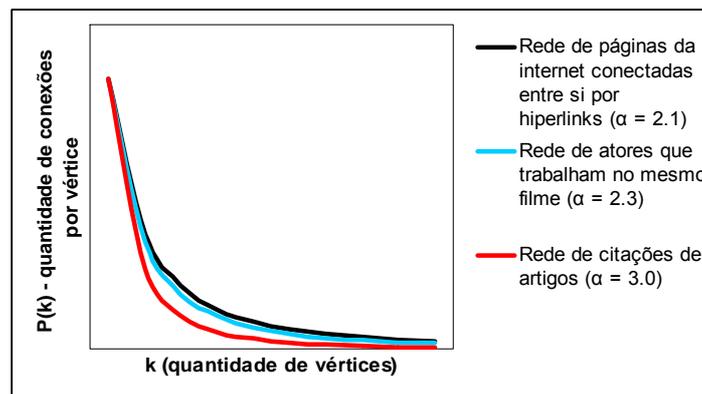


Figura 2.7 – Distribuição das conexões em redes livres de escala – exemplo de redes reais (BARABASI e ALBERT, 1999)

Na Figura 2.8 são ilustradas duas redes de transporte: (a) uma rede de rodovias interestaduais, na qual são apresentados os nós com aproximadamente o mesmo número de conexões, dando origem a uma distribuição de graus em uma curva com forma de sino; (b) e a outra é uma rede de aerovias, na qual são apresentados alguns vértices (nós em cor vermelha) que concentram a maior parte das conexões, dando origem a uma distribuição de graus em forma de função potência.

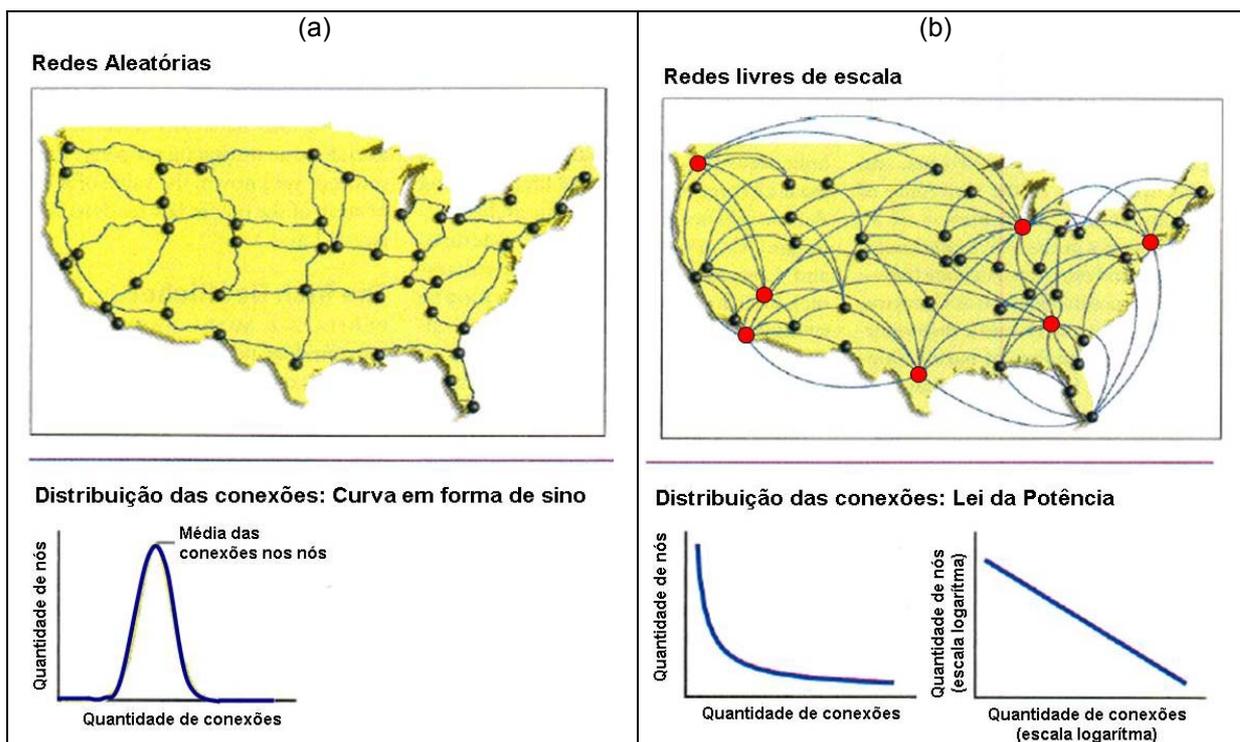


Figura 2.8 – Exemplos de redes reais: (a) Sistema de rodovias norte-americanas: exemplo de rede aleatória; (b) Sistema de aerovias norte-americanas: exemplo de rede livre de escala. Adaptado de Barabasi e Bonabeau (2003)

O comportamento das redes livres de escala é explicado por dois componentes que atuam simultaneamente: crescimento e ligações preferenciais. Considera-se que a rede está em constante expansão e, a cada unidade de tempo, um novo vértice é conectado à rede. Este novo vértice liga-se preferencialmente aos vértices da rede com maior número de conexões, ou seja, os de maior grau. Desta forma, os vértices mais antigos da rede são os que têm maior chance de adquirir novas conexões. Ao longo do tempo, são determinados os *hubs* da rede, ou seja, os vértices que detêm a maior porcentagem de conexões da rede. Na Figura 2.9 está ilustrada a sequência de crescimento de uma rede livre de escala.

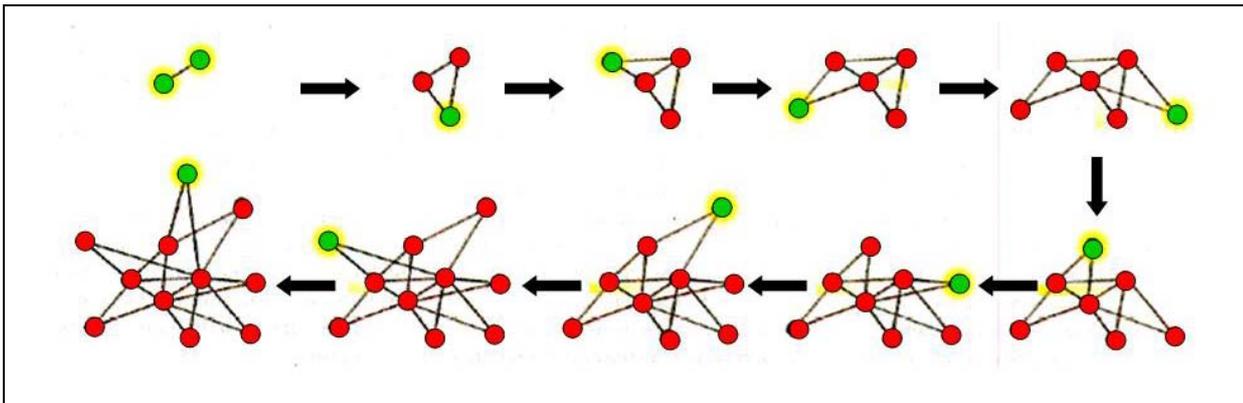


Figura 2.9 – Sequência que descreve o crescimento de uma rede livre de escala, no qual o novo vértice (cor verde) escolhe conectar-se com os vértices existentes (cor vermelha) com maior grau. (BARABASI e BONABEAU, 2003)

Além do grau, os fatores que determinam as ligações preferenciais em redes reais estão relacionados às variáveis que compõem o fenômeno representado pela rede. Tomando como exemplo uma matriz Origem-Destino de viagens diárias em uma área urbana, os pontos que atraem a maior parte dos deslocamentos geralmente são os que mais facilitam a realização das atividades. Esta facilidade pode ser traduzida em três formas: características do uso do solo, como áreas industriais, centros comerciais, entre outros; condições de acessibilidade e mobilidade, como a proximidade de terminais de transporte público ou o número de estacionamentos; e características históricas que influenciam na popularidade, como regiões que, tradicionalmente ou historicamente, são conhecidas por reunir um tipo de atividade, como um determinado tipo de comércio ou de indústria, locais de lazer, entre outros.

A influência da popularidade de um local no mecanismo de crescimento da rede por ligações preferenciais pode ser explicada por meio do conceito de *path-dependence*, no qual se assume que as áreas mais antigas da cidade são associadas a um determinado tipo de atividade conforme seu passado histórico, mesmo que isto não valha mais nos dias atuais (ARTHUR, 1988). Comumente usado na Economia e na Sociologia, o conceito de *path-dependence* ainda é controverso, pois muitos autores concluem que esta dependência extrapola a evolução histórica do fenômeno, associando-se a influências exógenas, além de uma possível estagnação e redução desta dependência, sob efeito da inércia (MAHONEY, 2000; CÉSARIS, 2009). Em estudos urbanos, o crescimento populacional das cidades devido a correntes migratórias e a desvalorização de áreas centrais urbanas podem ser exemplos de efeitos exógenos e de inércia, respectivamente.

3 ESTRUTURA DO MODELO GDA

São detalhados neste capítulo os módulos que compõem a estrutura do Modelo GDA. São explicados os objetivos, os procedimentos e a organização de cada módulo. Também são justificados: a adoção do programa NetLogo como plataforma computacional para a simulação; e o uso da Unidade Espacial de Análise (UEA) como nível de agregação de dados no Modelo GDA.

3.1 Aspectos gerais da estrutura do Modelo GDA

A estrutura do Modelo GDA teve como ponto de partida a configuração dos modelos vistos na revisão bibliográfica, nos quais destacam-se duas características similares a este modelo: o modo de interpretar o espaço geográfico e a organização das etapas do modelo. Quanto à interpretação do espaço geográfico, foi considerado o atributo espacial durante a simulação por meio da localização geográfica dos dados de entrada e saída do modelo e das relações topológicas entre os atributos. Quanto à organização, o modelo é constituído por duas etapas: Etapa 1, Geração de Viagens, que é subdividida em: Módulo 1, Produção de viagens; Módulo 2, Definição das Atividades; e Módulo 3, Atração de viagens; e Etapa 2, Distribuição de viagens, composta pelo Módulo 4.

Os módulos estão estruturados em três partes: entrada de dados, tratamento das informações e obtenção dos resultados. Os resultados são vinculados a uma base georreferenciada subdividida em áreas, chamadas de Unidades Espaciais de Análise (UEAs). Os Módulos 1 e 2 estão associados à estimativa da produção de viagens e são executados sequencialmente, pois os resultados do primeiro módulo servem de dados de entrada para o segundo. No Módulo 1, os domicílios são definidos quanto ao número de moradores e de viagens, já no Módulo 2, são definidas as atividades que motivam as viagens, considerando a situação domiciliar e a idade dos moradores. A estimativa da atração de viagens é definida no Módulo 3, cuja base de dados é constituída por informações sobre uso do solo, empregos, unidades de ensino e vagas escolares. Por fim, os resultados obtidos nos Módulos 2 e 3 formam a base de dados de entrada para o Módulo 4, cujo objetivo é estimar a distribuição de viagens considerando, além das características do morador e do uso do solo, informações acerca da atratividade dos destinos de viagem e

da distância de deslocamento. O funcionamento do modelo é retratado de forma simplificada no diagrama ilustrado na Figura 3.1, cujos processos são apresentados de forma detalhada nas seções respectivas a cada módulo.

Por outro lado, dois aspectos diferenciam o Modelo GDA dos modelos abordados na revisão bibliográfica: as variáveis explicativas adotadas pelo modelo e o comportamento das variáveis durante a simulação.

Quanto às variáveis, é proposto estimar a demanda de viagens apenas por meio dos atributos do morador e do ambiente, não considerando informações provenientes das pesquisas de tráfego, como, por exemplo, contagens de tráfego e matrizes OD. Isto se justifica por tratar-se de um modelo baseado em atividades, cuja principal idéia é de que o deslocamento é derivado da necessidade de realização de uma atividade, a qual depende das características de quem irá realizá-la (o morador) e de onde será realizada (o ambiente).

Já quanto ao comportamento das variáveis durante a simulação, para estimar a distribuição de viagens intraurbanas é considerada uma análise *bottom-up* nas relações entre o morador e o ambiente urbano, em contraste com uma análise *top-down*. Logo, mesmo condicionada ao uso do solo, a distribuição das viagens retratada pelo modelo é o resultado que emerge do processo iterativo entre as decisões individuais dos moradores ao escolher os locais para realizar as atividades que motivaram seus deslocamentos. O processo não se resume apenas ao somatório de decisões individuais, pois a decisão de um morador influencia nas decisões dos demais moradores. Esta influência pode ser de forma direta, por meio das divisões de atividades entre os membros de uma mesma estrutura domiciliar, ou indireta, por meio de alterações nos níveis de ocupação de certas áreas urbanas, que pode estimular, ou não, a atração de novas viagens para estas áreas. No caso do Modelo GDA, estas influências são descritas nos mecanismos de atribuição de viagens aos moradores (Módulo 2) e de alteração na atratividade dos locais durante o processo de distribuição de viagens (Módulo 4).

Quanto à plataforma computacional, a adoção de um SMA justifica-se por viabilizar a interpretação da estimativa da demanda de viagem como um fenômeno emergente. No caso do Modelo GDA, a escolha do SMA foi direcionada pela facilidade de manipulação de dados desagregados e pela possibilidade de vincular estes dados a uma base georreferenciada em todos os processos, ou seja, desde a entrada dos dados, passando pela simulação e, por fim, nos resultados. Entende-se que o uso de dados desagregados vinculados ao espaço geográfico diminui as simplificações adotadas na modelagem, permitindo que as interações entre o morador e o ambiente se aproximem do que é observado na realidade.

Para facilitar a redação deste capítulo, foi adotada uma notação para denominar os componentes do modelo, que está presente na Tabela 3.1. A denominação dos componentes na língua inglesa justifica-se pela futura intenção de disponibilizar o arquivo computacional do Modelo GDA na *homepage* do programa NetLogo, facilitando o entendimento da programação deste modelo ao usuários de diferentes nacionalidades.

Nas seções seguintes há uma breve descrição sobre a plataforma computacional e a unidade espacial de análise (UEA), além de detalhes acerca de cada módulo quanto aos seus objetivos e à sua organização.

Tabela 3.1 – Notação dos componentes do modelo

<i>Notação</i>	<i>Componente</i>
<i>Ag_ <nome></i>	Nome do grupo de agentes da simulação
<i><nome></i>	Nome da variável / parâmetro / atributo
<i><NOME></i>	Nome do algoritmo

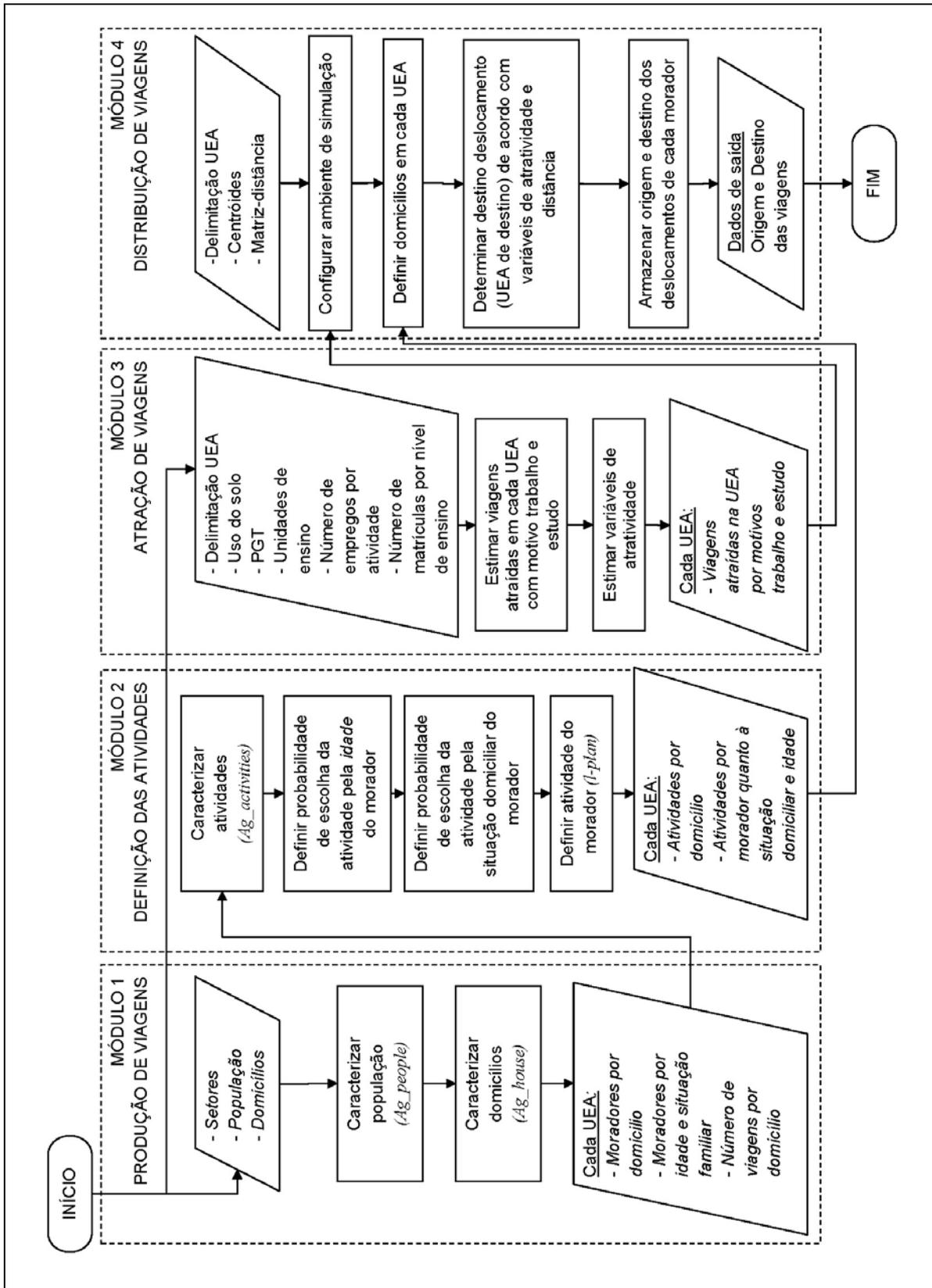


Figura 3.1 – Diagrama geral da estrutura do modelo

3.2 Unidade Espacial de Análise (UEA)

A interpretação do ambiente urbano subdividido em unidades territoriais com atributos discretos é proposta no modelo. Aqui, estas subdivisões são chamadas Unidades Espaciais de Análise (UEAs), nas quais as variáveis de entrada e saída do modelo são vinculadas a cada uma das UEAs que dividem o espaço urbano, facilitando a organização dos dados alfanuméricos e geográficos em todas as etapas do processo.

Embora seja usada no Modelo GDA a modelagem SMA, na qual é possível incorporar um caráter dinâmico aos seus elementos, o conceito da UEA está mais vinculado ao caráter estático presente no ambiente SIG. Assim, como ocorre nas unidades vetoriais (pontos, linhas ou polígonos) e raster (células), os atributos geográficos das UEAs permanecem constantes ao longo da simulação. Esta característica justifica-se pelo perfil exploratório do modelo, e não preditivo, no qual a estimativa da demanda de viagens é projetada para o cenário correspondente ao ano-base.

A delimitação das UEAs segue os pressupostos teóricos dos modelos vetoriais e raster, ou seja, como se trata de uma simplificação do espaço real em unidades, se sugere uma UEA com área menor possível levando em consideração três fatores: o nível de agregação dos dados de entrada disponíveis para o modelo, o nível de homogeneidade das informações contidas na UEA que são relevantes para o problema a ser investigado, e o nível de detalhamento espacial que se espera dos resultados. Deste modo, a definição da UEA varia conforme a extensão da área de estudo, podendo ser, por exemplo, delimitada por setores censitários ou zonas de tráfego, quando se estuda a área urbana de uma cidade, ou por municípios, quando se estuda uma região metropolitana.

3.3 Plataforma computacional

Para a modelagem SMA no Modelo GDA foi usado o programa NetLogo (WILENSKY, 1999). O NetLogo é um programa *freeware* desenvolvido em linguagem Java para modelagem SMA e AC com o intuito de simular fenômenos naturais e sociais. Foi criado por Uri Wilensky em 1999, e continua em desenvolvimento pelo *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling (CCL)* da Universidade de Northwestern (EUA). Este programa foi criado para a simulação computacional de sistemas complexos que se

desenvolvem numa escala temporal e espacial, permitindo explorar padrões de comportamento que emergem das interações entre agentes e entre agente e ambiente. No NetLogo é utilizada a linguagem *Logo* para o desenvolvimento dos modelos relativos à especificidade de cada projeto.

De um modo geral, três tipos de agentes são definidos pelo NetLogo: *turtles*, agentes que realizam ações no *world*, ou seja, no ambiente de simulação; *patches*, agentes que formam o *world*, dividindo-o em uma grelha regular e ortogonal de células, as quais configuram unidades de área onde os *turtles* se movem; *links*, agentes que conectam dois *turtles*, formando uma rede de linhas e nós. O programa é estruturado em três espaços: *Interface Tab*, local onde se observa a simulação; *Information Tab*, local onde se fornece uma explicação do modelo; *Procedures Tab*, local onde se desenvolve o código de programação.

Além da plataforma base do NetLogo, são oferecidos módulos que complementam as funcionalidades existentes, chamados *Extensions* (extensões), os quais são úteis para modelos que necessitam de ferramentas não encontradas nos comandos básicos do NetLogo. Desta forma, é disponibilizada pelo programa a extensão *GIS*, que possui ferramentas para utilizar arquivos *Shapefile* (vetor) e *ASCII grid files* (raster), permitindo vincular ao dado as informações referentes ao georreferenciamento (RUSSEL, 2008). Esta extensão foi decisiva para a escolha do NetLogo como plataforma computacional para esta pesquisa, pois uma das exigências do trabalho é manter a referência geográfica dos dados durante a aplicação do Modelo GDA. Desta forma, os resultados do Modelo GDA são organizados em função dos identificadores (ID) das UEAs, os quais são usados, com o auxílio de um SIG, para vincular estes resultados no arquivo geográfico da delimitação das UEAs, permitindo a espacialização destes resultados e sua respectiva visualização por meio de mapas temáticos.

Outros aspectos relevantes para o uso do NetLogo são o fato deste programa ser gratuito, disponibilizar vasta documentação e exemplos de aplicação e possuir referências de trabalhos científicos que o utilizaram como ferramenta de simulação (BATTY e JIANG, 1999; TORRENS, 2000; OUREDNIK e DESSEMONTET, 2007; SHEN, CHEN e KAWAKAMI, 2008).

3.4 Módulo 1 – Produção de viagens

O objetivo do Módulo 1 é obter uma estimativa inicial de produção de viagens. Como apenas viagens residenciais são consideradas no modelo, a base de cálculo para a produção de viagens é a população residente. Considera-se, a princípio, que cada morador é capaz de realizar, pelo menos, uma viagem. Posteriormente, no Módulo 4, o vetor de produção será ajustado ao de atração, reduzindo a quantidade de viagens produzidas, pois nem todos os moradores realizam viagens diariamente.

Uma população sintética com características dos moradores da área de estudo, cujos atributos se resumem à idade e à posição na estrutura domiciliar, é elaborada neste módulo. Os dados referentes a esta população são agregados em unidades domiciliares, cuja localização geográfica é associada às UEAs. A elaboração deste conjunto de dados é um processo iterativo de ajuste entre a população total, a quantidade de moradores por domicílio e a distribuição da população conforme a faixa etária. Simultâneo a este processo de ajuste, são definidos os atributos de idade e situação domiciliar do morador. Para que estes atributos sejam delineados de forma coerente, são adotadas regras para examinar os atributos referentes aos moradores de um mesmo domicílio, as quais são baseadas no ciclo de vida observado na área de estudo. Ou seja, para uma determinada área de estudo pode ser verificado, por exemplo, se a diferença de idade entre pais e filhos de um domicílio é compatível com os prognósticos de fecundidade para a região.

A construção da população sintética no Modelo GDA resume-se em duas etapas. Na primeira etapa, é feita uma estimativa do número de moradores por domicílio a partir de informações sobre a população total, sobre a distribuição dos domicílios quanto ao número de moradores e sobre a distribuição da população quanto à idade. Estas informações normalmente são disponibilizadas pelo levantamento censitário feito pelo IBGE ou por pesquisas sociodemográficas feitas por empresas ligadas ao governo estadual ou municipal, como, por exemplo, o SEADE, no caso do Estado de São Paulo.

Na segunda etapa, são delineados os tipos de situação domiciliar comumente encontrados na área de estudo. Ou seja, são observados, por exemplo, se há e quais são as relações familiares entre os moradores, quantos moradores são considerados chefes de família, entre outros aspectos. Como exemplo, na aplicação do Modelo GDA na cidade de São Carlos (SP), tomou-se como base uma configuração típica encontrada no cenário brasileiro, análoga à considerada pelo IBGE no censo de 2000 (IBGE, 2000a). Esta estrutura domiciliar é composta por quatro posições, definidas como atributos do domicílio:

chefe de família (*head*); cônjuge (*part*); filhos (*chd*); e agregados (*oth*). No caso de domicílios com apenas um morador, associou-se a posição de “chefe de família” ao mesmo.

Também na segunda etapa são definidas regras de distribuição dos moradores nos domicílios segundo a idade e a situação domiciliar. Logo, se estabelece a quantidade de chefes de família, de filhos e de agregados, bem como se há ou não um cônjuge na unidade domiciliar, restringindo estas quantidades ao número máximo de moradores no domicílio. As idades dos moradores são determinadas conforme a situação domiciliar, respeitando os critérios baseados no ciclo de vida, já mencionados anteriormente.

A execução do Módulo 1 inicia-se em uma listagem de registros de informações sobre as UEAs e seus respectivos números de domicílios. A cada iteração um registro com as informações da UEA é examinado, estimando uma população sintética vinculada aos domicílios desta UEA. Depois de percorrer todos os registros, o processo iterativo é finalizado, permitindo a obtenção dos resultados deste módulo, que composto pelo número de moradores, a idade e a situação familiar dos moradores de cada domicílio pertencente à determinada UEA. Os processos que compõem o Módulo 1 estão expressos no diagrama contido na Figura 3.2.

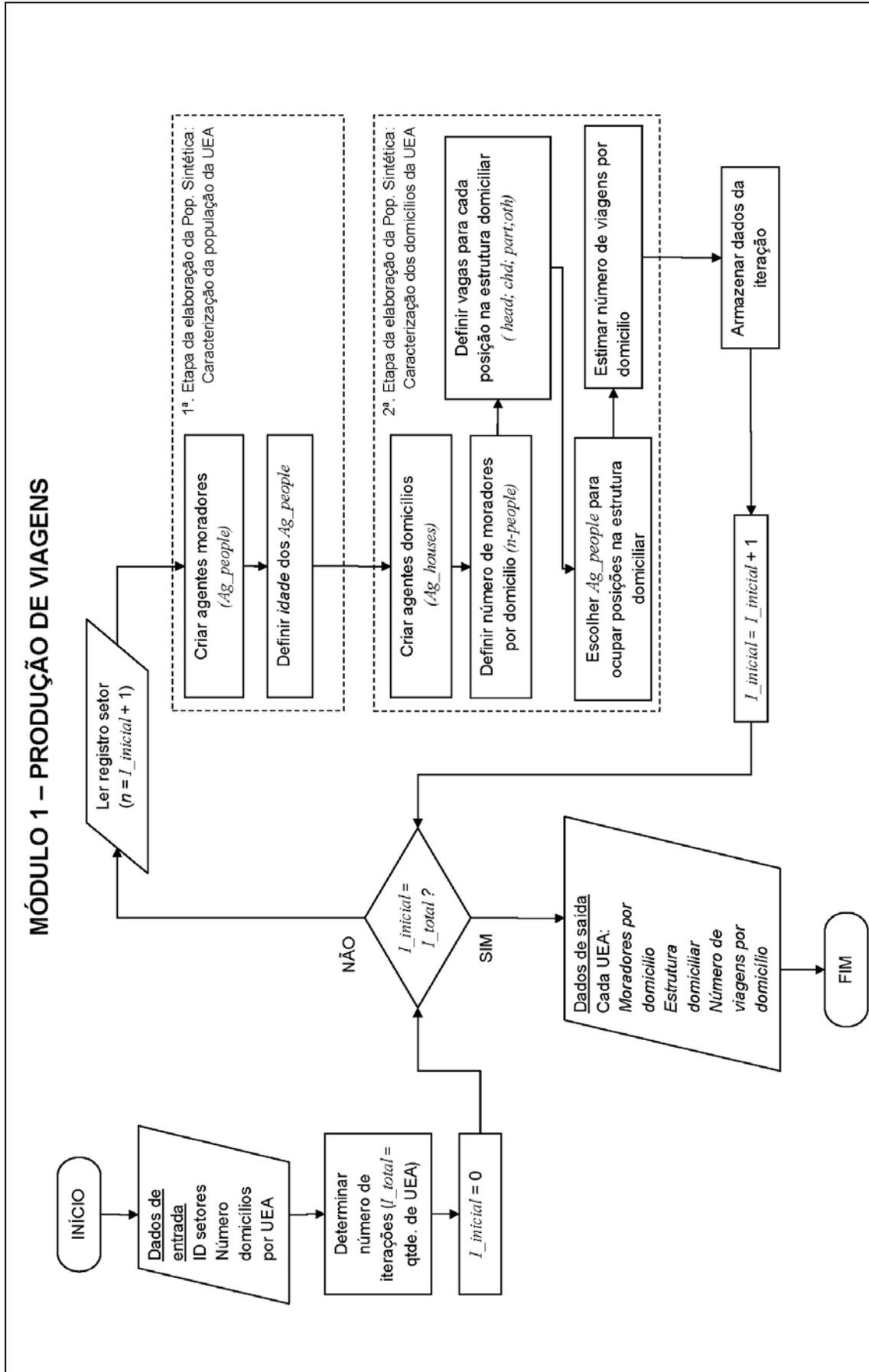


Figura 3.2 – Diagrama do Módulo 1 – Produção de viagens

3.5 Módulo 2 – Definição das atividades

O objetivo do Módulo 2 é estimar as atividades que motivam os deslocamentos dos moradores. Além da idade e da situação domiciliar, esta estimativa também leva em consideração taxas de probabilidade de escolhas de determinadas atividades pelo morador. No modelo, cada morador é vinculado a uma única viagem diária, retratada pela variável *l-plan*.

No Módulo 2, são utilizados como dados de entrada os resultados do Módulo 1, ou seja, número de moradores, estrutura domiciliar e número de viagens que partem dos domicílios de cada UEA. Após são definidos os agentes que representam os moradores, os domicílios e as atividades consideradas pelo modelo, bem como as probabilidades de escolha associadas à idade e à situação domiciliar do morador para cada tipo de atividade. Também é definida a quantidade de iterações na execução deste módulo que, semelhante ao Módulo 1, coincide com a quantidade de UEAs. A cada iteração, o registro dos domicílios vinculados à determinada UEA é considerado para a caracterização das atividades dos seus respectivos moradores (*l-plan*). Em algumas atividades, dependendo do nível de desagregação das informações, é necessário reclassificá-las conforme algum critério associado aos moradores. No caso da atividade estudar, por exemplo, há uma subclassificação de acordo com o nível de ensino, cujo critério é vinculado à idade do morador. Ao final das iterações são obtidos os resultados do Módulo 2, que são os dados acerca das atividades, segregadas por domicílio e por morador. Os processos que compõem o Módulo 2 estão ilustrados no diagrama da Figura 3.3

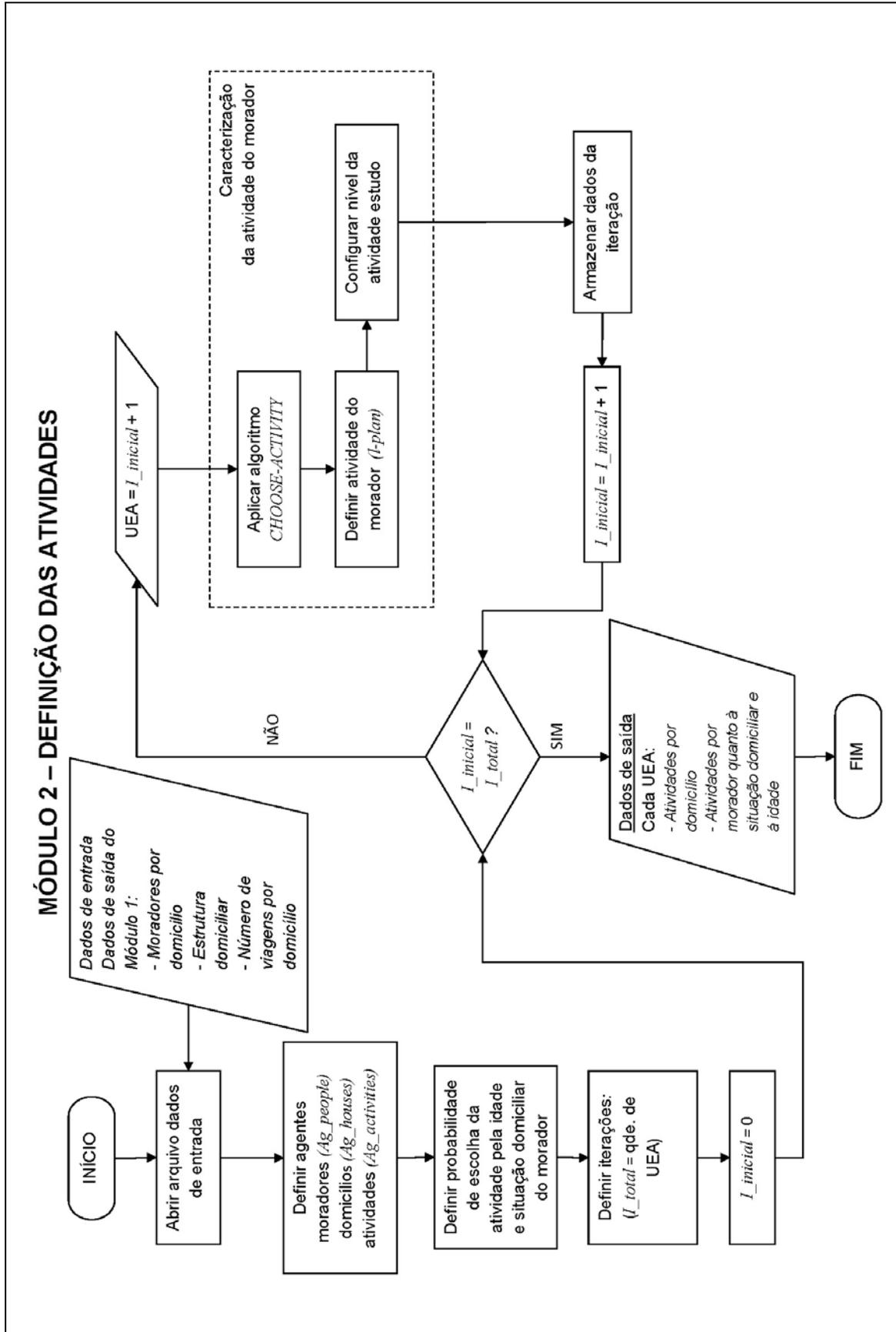


Figura 3.3 – Diagrama do Módulo 2 – Definição das atividades

Definem-se três tipos de atividades que originam viagens: *trabalhar*, *estudar*, *outras atividades*. Considera-se que as atividades *trabalhar* e *estudar* geram viagens obrigatórias, configurando a maior parte das viagens intraurbanas; já *outras atividades*, como ir às compras ou ir ao médico, por exemplo, dão origem a deslocamentos opcionais, sendo uma exceção à rotina das viagens diárias. Observa-se no Modelo GDA que, apesar das *outras atividades* serem consideradas na elaboração do plano de atividades do morador, as viagens resultantes destas outras atividades não foram estimadas. Como citado anteriormente, este modelo estima a demanda de viagens apenas para as atividades *trabalhar* e *estudar*.

Entendendo que as atividades realizadas dentro de cada tipo podem ser desagregadas em subcategorias, o detalhamento de cada tipo de atividade deve ser feito em função da disponibilidade de dados na área de estudo. Por exemplo: a atividade *trabalhar* pode ser subdividida em trabalhar na indústria, no comércio, na construção civil, entre outras subáreas existentes para cada contexto urbano. Em relação à atividade *estudar*, caso seja possível obter dados, é importante subdividi-la em níveis de ensino, pois estão diretamente vinculados à idade. Por exemplo, os ensinos fundamental e médio correspondem às idades entre 7 e 15 anos de moradores que possuem a posição “filhos” ou “agregados” na estrutura domiciliar.

As probabilidades de escolha dos moradores são estimadas de acordo com o perfil sociodemográfico observado na área de estudo. São assumidos pelo modelo duas principais taxas de probabilidade, uma que considera a idade do morador e outra que considera a sua situação domiciliar, cujos valores vão de 0 a 100. Ambas são integradas por uma função matemática, cujo objetivo é definir uma única taxa de probabilidade (*p-plan*), a qual determina a chance de escolha de uma determinada atividade pelo morador. Os valores de *p-plan* vão de 0 a 100.

O objetivo da função para calcular a probabilidade *p-plan* é estimar como a interação entre a idade e a situação domiciliar do morador influencia na escolha das atividades diárias. Logo, se pressupõe que moradores com a mesma idade podem escolher atividades diferentes conforme o papel que desempenham dentro da unidade domiciliar. Ou seja, por exemplo, um morador com idade de 25 anos e chefe de família tem maior probabilidade escolher uma atividade ligada ao trabalho do que ao estudo, ao contrário do que aconteceria se este mesmo morador tivesse uma posição de filho dentro da estrutura domiciliar.

Desta forma, no Modelo GDA são propostas três tipos de funções para calcular $p-plan$, conforme as Equações (14), (15) e (16):

$$F_{p-plan} = P_{idade}^{(P_{sd}/100)} \quad \text{Função Potência} \quad (14)$$

$$F_{p-plan} = P_{idade} \times (P_{sd} \times 100) \quad \text{Função Multiplicação} \quad (15)$$

$$F_{p-plan} = e^{\left[1 - \left(\frac{P_{idade} \times P_{sd}}{100}\right)\right]} \times 100 \quad \text{Função Exponencial} \quad (16)$$

em que F_{p-plan} é a função que define o valor de $p-plan$, P_{idade} é a probabilidade quanto à idade do morador e P_{sd} é a probabilidade quanto à situação domiciliar do morador. Para exemplificar o comportamento destas funções, no gráfico da Figura 3.4 estão ilustradas as curvas das distribuições da variável $p-plan$ conforme a função adotada e a probabilidade associada à situação domiciliar do morador, considerando uma probabilidade associada à idade do morador de 100% para realizar uma determinada atividade.

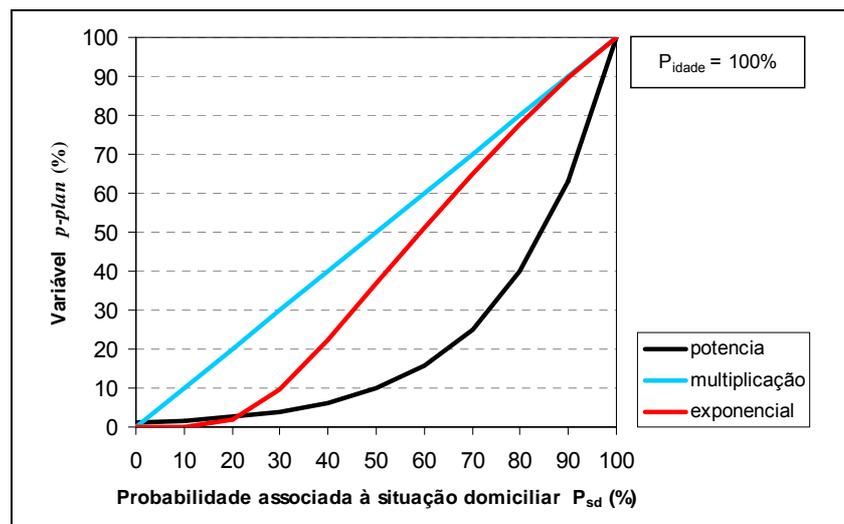


Figura 3.4 – Distribuição dos valores da variável $p-plan$ para probabilidade $P_{idade} = 100\%$

No modelo, a escolha das atividades se dá por meio do algoritmo *CHOOSE-ACTIVITY*. Neste algoritmo é definido um valor de probabilidade de escolha para o morador, a variável $r-plan$, que é um número aleatório proveniente de uma distribuição uniforme entre zero e o valor máximo de probabilidade para determinada atividade conforme a situação domiciliar do morador. Este valor é comparado ao valor da variável $p-plan$ para uma atividade escolhida aleatoriamente ($c-plan$). O algoritmo é executado até ser escolhido uma atividade que resulte num valor de $p-plan$ maior do que $r-plan$, permitindo, assim, que atividades que detêm maior taxa de probabilidade de escolha ($p-plan$) tenham mais chances de serem

selecionadas pelo morador. A estrutura deste algoritmo tem como base o trabalho de Wilensky (2004). O diagrama deste algoritmo está ilustrado na Figura 3.5. Um exemplo da aplicação do algoritmo *CHOOSE-ACTIVITY* está no Apêndice F.

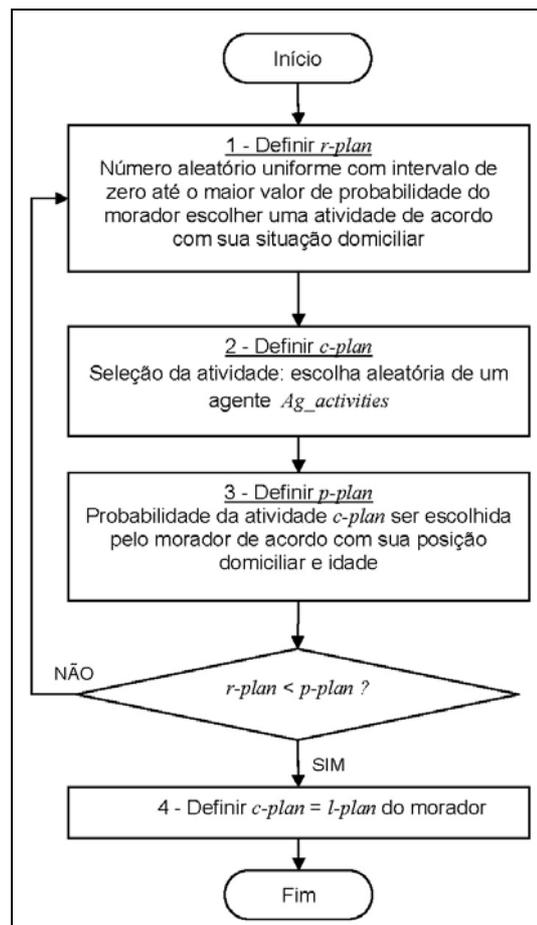


Figura 3.5 – Diagrama do algoritmo *CHOOSE-ACTIVITY*

3.6 Módulo 3 – Atração de viagens

O objetivo do Módulo 3 é determinar critérios quantitativos e qualitativos para estimar a atração das viagens de cada uma das UEAs em que a área urbana foi subdividida. Assim, como o Modelo GDA concentra-se na estimativa das viagens vinculadas às atividades *trabalhar* e *estudar*, os critérios têm como base as seguintes informações associadas às UEA: uso do solo, número de empregos e vagas na rede de ensino.

A partir de critérios quantitativos, é elaborada uma estimativa de viagens para as atividades *trabalhar* e *estudar*. Pressupondo que cada vaga de trabalho ou de ensino pode atrair, no mínimo, uma viagem diária, define-se o total de viagens atraídas como a soma entre o número de empregos e de vagas no ensino situado em cada UEA, cujo resultado corresponde à variável *atracao* para a UEA correspondente. Nota-se que esta é uma simplificação adotada pelo modelo, pois, na realidade, se observa que algumas vezes as viagens para atividades *estudar* e *trabalhar* têm um perfil de viagem encadeada em vez de viagem residencial. Um exemplo são situações onde os pais aproveitam a viagem ao trabalho para deixar ou buscar os filhos na escola.

Também são consideradas subdivisões na variável *atracao*, associando parte desta estimativa de viagens atraídas para determinada atividade, conforme o nível de detalhamento nas atribuições dos tipos de atividades presentes no modelo. É o caso, por exemplo, das viagens para atividade estudar, que podem ser segregadas em níveis de ensino.

Já a partir de critérios qualitativos, são propostas variáveis que definem o nível de atratividade de cada UEA, contribuindo de modo favorável ou não para a escolha da mesma como destino de viagem. São definidas quatro variáveis:

- (i) $\langle atividade \rangle_{prob}$: representa as atividades que são possíveis de serem realizadas na UEA. Os valores expressam uma porcentagem de chance de ser realizada a atividade em determinada UEA em relação às demais UEAs existentes, conforme a Equação (17),

$$\langle atividade \rangle_{prob} = \frac{UEA_atracao_a}{atracao_a} \quad (17)$$

em que $UEA_atracao_a$ corresponde ao valor da variável *atracao* associada a uma determinada atividade na UEA, $atracao_a$ corresponde ao valor da total da variável *atracao* associada a tal atividade na área de estudo. Por exemplo,

considerando a atividade *estudar* e uma subdivisão desta atividade relacionada ao ensino fundamental, o cálculo da $\langle atividade \rangle_{prob}$ será a razão entre o número de vagas escolares para o ensino fundamental associado à UEA e o total de vagas escolares para o ensino fundamental encontrados em toda área urbana.

- (ii) $total_{prob}$: representa a diversidade de atividades possíveis de serem realizadas na UEA, entendendo este aspecto como favorável à atratividade de viagens. É calculada por uma média ponderada entre as variáveis $\langle atividade \rangle_{prob}$ e $atracao$, conforme a Equação (18),

$$total_{prob} = \frac{\sum_{a=1}^n \langle atividade \rangle_{prob}_a \times atracao}{\sum_{a=1}^n atracao} \quad (18)$$

em que a representa cada atividade considerada pelo cálculo e n é o número total de atividades consideradas para na UEA.

Como referido acima, considera-se que locais com maior diversidade de usos são mais atrativos como destino de deslocamento. Este pressuposto indica que a probabilidade do morador desenvolver outras atividades, além da que o motivou a deslocar-se, incrementa a atratividade desses destinos. Ou seja, comparando duas UEAs com o mesmo valor de $\langle atividade \rangle_{prob}$, a UEA mais atrativa como destino da viagem será a que tiver maior valor de $total_{prob}$. Esta variável sofre modificações ao longo do processo de distribuição de viagens (Módulo 4), incrementando o seu valor conforme a procura da UEA como destino pelos moradores, e, conseqüentemente, aumentando a chance de atrair viagens em relação às demais UEAs. O fator de incremento é determinado pela variável $cont_{indiv}$. Este mecanismo de alteração da variável $total_{prob}$ será abordado com mais detalhes no Módulo 4, que aborda a distribuição de viagens.

- (iii) $cont_{indiv}$: Variável que determina o quanto cada morador contribui para o incremento do valor de $total_{prob}$ de determinada UEA ao escolhê-la como destino de deslocamento. É calculado pela razão entre a variável $total_{prob}$ e população residente (pop), conforme a Equação (19),

$$Cont_indiv_i = \frac{total_prob_i}{pop_i} \quad (19)$$

em que i representa cada UEA.

- (iv) *peso_CDB*: Variável que estabelece um ranking de pesos entre as UEAs conforme a evolução histórica da ocupação urbana na área de estudo, no qual os maiores valores indicam as áreas mais antigas da cidade. Esta idéia é extraída do conceito de *path-dependence* presente em Brian Arthur (1987). O termo “CDB”, que correspondente à segunda parte do nome desta variável, vem do acrônimo de *Central Business District*, pois as áreas mais antigas de uma cidade geralmente são associadas ao bairro central, e, desta forma, caracterizam-se por ter um tipo de uso do solo mais consolidado do que as demais áreas da cidade. Por outro lado, é preciso observar o padrão da evolução histórica da ocupação da área urbana em estudo, pois algumas cidades podem ter a sua zona central localizada numa área nova ou podem ter mais de uma zona central.

Cada UEA possui valores específicos para estas cinco variáveis – *atracao*, *<atividade>_prob*, *total_prob*; *cont_indiv* e *peso_CDB* – em função das suas características próprias e relativas às restantes UEAs. Estes valores compõem os resultados do Módulo 3, os quais são vinculados a um arquivo geográfico que servirá de base para o ambiente de simulação do Módulo 4 (Distribuição de Viagens).

A execução do Módulo 3 inicia-se com a integração das bases de dados referentes ao uso do solo, ao trabalho e ao ensino e, a seguir, é feita uma estimativa de viagens atraídas por UEA com relação às atividades *trabalhar* e *estudar*. O cálculo desta estimativa é constituído pelo levantamento das vagas por atividade, pelo mapeamento dos locais para realizar cada atividade, pela distribuição das vagas conforme a capacidade dos locais mapeados e pela definição do número total de vagas para determinada atividade por UEA, que, conforme visto na explicação da variável *atracao*, corresponde ao número total de viagens atraídas por UEA. Após, as variáveis de *atividade* são agregadas por UEA e, por fim, têm-se, como resultado, as viagens atraídas por UEA para as atividades *trabalhar* e *estudar*. Um organograma de implementação do Módulo 3 é retratado no diagrama presente na Figura 3.6.

Observa-se que a estrutura dos procedimentos do Módulo 3 é referente à estimativa de viagens apenas para realizar atividades *trabalhar* e *estudar*. Atendendo à complexidade do modelo, neste trabalho optou-se por fazer esta simplificação, pois contemplar as viagens

com outros motivos (p. ex: compras, lazer) viriam tornar o modelo mais extenso e sem ganhos significativos em nível da sua validação. Esta afirmação se justifica pela aplicação do Modelo GDA na cidade de São Carlos (SP), pois, segundo o levantamento feito pela pesquisa OD nesta cidade, apenas 20% das viagens residenciais estão associadas a outras atividades além de trabalhar e estudar. Assim, na estrutura e na aplicação do Modelo GDA, a estimativa da distribuição de viagens não foi desenvolvida de forma a serem consideradas outras viagens além das de trabalho e estudo.

Por outro lado, caso fossem consideradas outras atividades na estimativa da demanda de viagens no Modelo GDA, seria necessário estabelecer critérios de acordo com o nível de detalhamento, bem como a adoção de hipóteses para estimar possíveis locais para a realização destas atividades, pois, a priori, estas atividades geram viagens não-obrigatórias. Por exemplo: o mapeamento de principais Pólos Geradores de Tráfego (PGTs) relacionados a estas atividades, como centros comerciais para atividades ligadas a compras, hospitais para atividades ligadas à saúde, centro de eventos para atividades ligadas ao lazer, entre outros.

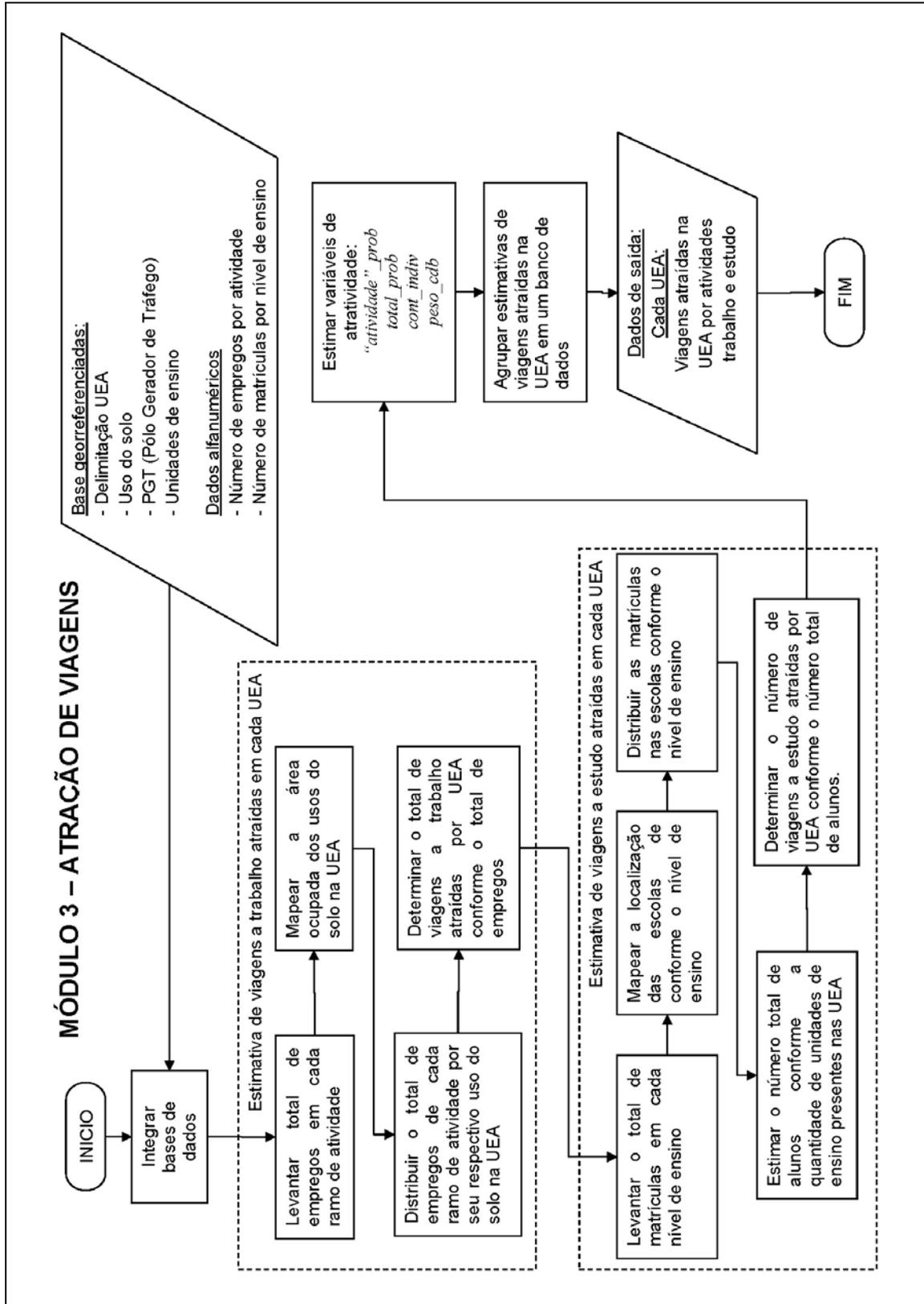


Figura 3.6 – Diagrama do Modelo 3 - Atração de viagens

3.7 Módulo 4 – Distribuição de viagens

O objetivo deste módulo é determinar a distribuição das viagens entre as UEAs, ajustando as viagens produzidas e atraídas em cada setor. Este processo tem como base um ambiente de simulação SMA que estabelece a interação entre dois grupos principais de agentes: agentes da produção de viagens, formado pelos domicílios (*Ag_houses*); e agentes da atração de viagens formados pelas UEAs (*Ag_pcenters*). Para configuração inicial do Módulo 4 são usados os resultados do Módulo 2, que caracterizam os agentes da produção de viagens, e os resultados do Módulo 3, que caracterizam os agentes da atração de viagens. Além disto, também são usados dados geográficos acerca das UEAs, com a delimitação da área e do centróide, e a matriz de distância entre os centróides.

Quanto aos agentes de produção de viagem, os *Ag_houses* têm como atributos iniciais o identificador da UEA (*ID*) que pertencem e as atividades que motivam os deslocamentos dos moradores. Já quanto aos agentes de atração de viagens, os *Ag_pcenters* têm como atributos iniciais as variáveis definidas no Módulo 3 (*atracao*, *<atividade>_prob*, *total_prob*; *cont_indiv* e *peso_CDB*). Ao final do processo, novos atributos são associados aos *Ag_pcenters*, como o *ID* da UEA de origem do domicílio que o escolheu como destino de viagem e a respectiva distância desta viagem.

O procedimento para a distribuição de viagens é baseado no modelo de utilidade aleatória (*Random Utility Models - RUM*), já aplicado nos modelos de estimativa da demanda de viagens baseados em atividades mencionados na revisão bibliográfica. Logo, a escolha do local para onde o morador irá deslocar-se é condicionada por sua atividade, pela localização da sua residência e pela atração exercida pelos locais que possibilitam a realização desta atividade. Esta escolha (U_k) segue o modelo *RUM*, conforme a Equação (20),

$$U_k = V_k(A_i, L_i, R_j) + \varepsilon(X_j, U'_k) \quad (20)$$

em que o componente determinístico (V_k) é formado pela relação entre: a atividade prevista para o morador (A_i), a localização da residência do morador (L_i) e as variáveis de atratividade dos locais para a realização desta atividade (R_j); já a componente aleatória (ε) é baseada no mecanismo de ligações preferenciais presente na teoria das redes livres de escala (BARABASI e ALBERT, 1999; BARABASI, 2002; WILENSKY, 2005). Por meio deste mecanismo o morador elege o local de destino do deslocamento pela relação entre as

facilidades oferecidas pelo destino para realizar a atividade (X_j) e um atributo não-observável da escolha deste local pelo morador, cujo valor é gerado por um número aleatório (variável *ownprob* – ver Tabela 3.3). Este processo é descrito pelo algoritmo *CHOOSE-ACTIVITY* e pelas conseqüentes alterações na variável *total_prob*.

Em cada iteração, uma porcentagem dos domicílios das UEAs é selecionada para compor os agentes de produção de viagens, cujo processo é definido pelo algoritmo *SETPLAN*, descrito no Apêndice E. A seleção de uma fração de domicílios a cada iteração justifica-se por possibilitar o incremento da variável *total_prob* durante a distribuição de viagem, cujo valor é modificado a cada iteração, além de viabilizar a simulação em termos operacionais, devido a limitações de memória e processamento dos computadores, pois estas operações consomem uma grande quantidade de tempo durante a execução.

Observam-se dois grandes grupos de Modelo GDA: os Modelos GDA-D, nos quais, no processo de distribuição de viagens, são privilegiados os destinos que resultam em menores distâncias de deslocamento, e os Modelos GDA-SD, nos quais não é considerada a distância de deslocamento na escolha do destino. Dentro de cada grupo há quatro tipos de modelos, os quais se diferenciam entre si pela adoção ou não de variáveis de atratividade, totalizando oito configurações do Modelo GDA. Estas configurações do Modelo GDA conforme as variáveis consideradas durante a execução do Módulo 4 são descritas Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Configurações dos Modelos GDA e suas respectivas siglas

Tipo	Sigla	Variáveis consideradas na distribuição de viagens			
		Distância do deslocamento	<i>total_prob</i>	<i>peso_CDB</i>	<atividade>_prob
GDA-D	TP/PC-D	X	X	X	X
	TP-D	X	X	-	X
	PC-D	X	-	X	X
	AP-D	X	-	-	X
GDA-SD	TP/PC-SD	-	X	X	X
	TP-SD	-	X	-	X
	PC-SD	-	-	X	X
	AP-SD	-	-	-	X

O mecanismo de escolha do destino de deslocamento é definido no algoritmo *CHOOSE-DESTINY*, cujo processo é condicionado pelas variáveis de atratividade vinculadas aos agentes de atração de viagens (*Ag_pcenters*). Na Tabela 3.3 estão descritos os critérios de escolha do destino do deslocamento deste algoritmo para cada tipo de modelo.

Destacam-se os procedimentos do algoritmo *CHOOSE-DESTINY* nos modelos TP/PC e TP, tanto no grupo GDA-D e GDA-SD, pois são os que consideram a variável *total_prob* no mecanismo de escolha do destino. A aplicação do Módulo 4 nestes modelos passa por duas etapas, a calibração da variável *total_prob* e a distribuição final das viagens. Logo, na aplicação do Módulo 4 na primeira etapa, a variável *total_prob* se modifica a cada iteração, aumentando o seu valor nas UEAs que são selecionadas como destino de viagem. Este processo é baseado no princípio das ligações preferenciais visto na teoria das redes livres de escala, caracterizando, como *hubs* da rede, as UEAs com os maiores valores de *total_prob*. Ao terminar esta primeira etapa, as UEAs estão vinculadas a novos valores de *total_prob*. Sendo assim, na segunda etapa, o Módulo 4 é aplicado novamente nestes modelos, agora com as UEAs vinculadas a novos valores de *total_prob*. Entretanto, nesta etapa, os valores de *total_prob* se mantêm constantes durante as iterações, ou seja, conforme a ordem de execução dos critérios da Tabela 3.3, os procedimentos 8 e 9 são excluídos do algoritmo *CHOOSE-DESTINY* nesta segunda etapa.

A execução do Módulo 4 começa com a configuração do ambiente de simulação baseada nos resultados dos Módulos 2 e 3. Estes resultados são vinculados a bases geográficas e alfanuméricas e contêm informações acerca das UEAs, dos domicílios e seus respectivos moradores, das variáveis de atratividade e das distâncias de deslocamento entre as UEAs. Após inicia-se o processo iterativo, que consiste em selecionar, a cada iteração, uma porção aleatória de domicílios, representados pelo conjunto UEA_t , para estimar os destinos de viagem dos seus respectivos moradores. Ao final das iterações se obtém como resultados a estimativa de produção e atração de viagens por UEA e a origem e o destino das viagens estimadas. Os processos que envolvem a execução do Módulo 4 estão ilustrados no diagrama da Figura 3.7.

Tabela 3.3 – Critérios de escolha do destino de viagem no algoritmo *CHOOSE-DESTINY*

Ordem de Execução	Descrição dos critérios de escolha do destino de deslocamento	Tipos de modelos GDA**			
		TP/PC*	TP*	PC	AP
1	Somente as UEAs que tiverem vagas para a realização de atividades (<i>atracao</i> > 0), podem ser selecionadas como destino do deslocamento;	X	X	X	X
2	Uma probabilidade de escolha é estimada para a atividade para cada morador (variável <i>ownprob</i>), que é um número aleatório com distribuição uniforme entre zero e o valor máximo da variável <i><atividade>_prob</i> em todas as UEAs.	X	X	X	X
3	Somente as UEAs que possibilitarem a realização da atividade que motivou o deslocamento do morador (<i><atividade>_prob</i> > 0) podem ser selecionadas	X	X	X	X
4	A(s) UEA(s) que possuir(em) um valor de <i>total_prob</i> maior que <i>ownprob</i> será selecionada como destino do deslocamento.	X	X	-	-
5	Se a atividade tiver alguma relação com atividades ligadas ao comércio ou a serviço, considera-se a variável <i>peso_CDB</i> , compondo uma média aritmética entre <i>total_prob</i> e <i>peso_CDB</i> para ser comparada com <i>ownprob</i> . A(s) UEA(s) que tiver(em) este valor médio maior que <i>ownprob</i> será escolhida	X	-	-	-
6	A(s) UEA(s) que possuir(em) um valor de <i>peso-CDB</i> maior que <i>ownprob</i> será selecionada como destino do deslocamento.	-	-	X	-
7	A UEA que possuir um valor de <i><atividade>_prob</i> maior que <i>ownprob</i> será selecionada como destino do deslocamento	X	X	X	X
8	A UEA selecionada tem o valor de <i>total_prob</i> alterado, adicionando ao mesmo um valor definido pela variável <i>cont_indiv</i> .	X	X	-	-
9	Ao final da cada iteração, os novos valores de <i>total_prob</i> são vinculados às UEA.	X	X	-	-

* Referente à etapa de calibração da variável *total_prob*

** Considera-se os dois grupos de Modelos GDA: GDA-D e GDA-SD

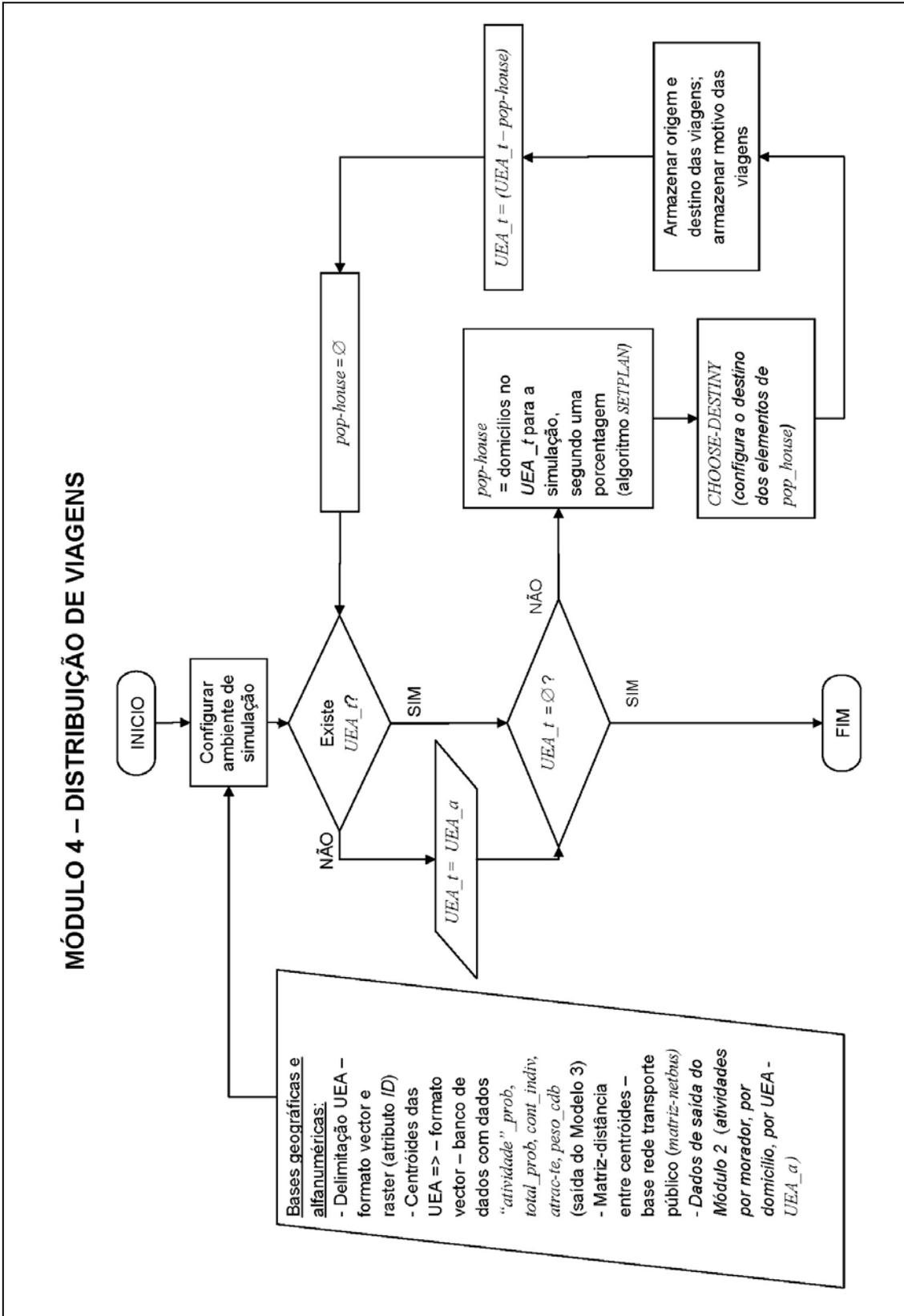


Figura 3.7 – Diagrama do Módulo 4 – Distribuição de Viagens

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Um dos objetivos deste trabalho é testar a estrutura do Modelo GDA em uma área urbana real. Logo, a cidade de São Carlos (SP) foi selecionada como área de estudo, pois o município possui dados de uma pesquisa Origem-Destino (OD), cujas informações são fundamentais para realizar a etapa da validação desse modelo. Uma breve descrição da cidade de São Carlos (SP) é apresentada neste capítulo, sobretudo quanto às características demográficas, históricas, do uso do solo e de mobilidade urbana. Em seguida são caracterizados a base de dados e os métodos de tratamento dos mesmos. Também são discutidas reformulações no método de expansão da matriz PA para melhor ajuste em relação aos dados observados.

4.1 Descrição geral da cidade de São Carlos (SP)

São Carlos é uma cidade de médio porte localizada no centro-oeste do Estado de São Paulo, a 213 km de distância à capital. Com 220 463 habitantes e aproximadamente R\$ 1 080,00 de renda per capita média, a cidade detém um alto nível de IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) Municipal, 0,841 no ano 2000, enquanto que o IDH no Estado de São Paulo e no país, no mesmo ano, eram 0,811 e 0,771, respectivamente (PNUD, 2003; IBGE, 2009). No contexto regional, a cidade representa um pólo acadêmico, com universidades e centros de pesquisa, e um pólo tecnológico, devido às indústrias ali implantadas..

Quanto à demografia, a cidade de São Carlos (SP) apresenta grande parte da população em idade escolar e economicamente ativa, como mostra a pirâmide etária presente na Figura 4.1. Para simplificar a aplicação do Modelo GDA, foi considerada uma distribuição de faixa etária igual nas UEAs, conforme esta pirâmide. Entretanto, ao observar os mapas temáticos ilustrados na Figura 4.2, nota-se que esta distribuição etária não é uniforme, apresentando a maior parte da população infantil nas regiões periféricas da

cidade, em contrapartida com as regiões centrais, que concentram a maior porção de população idosa.

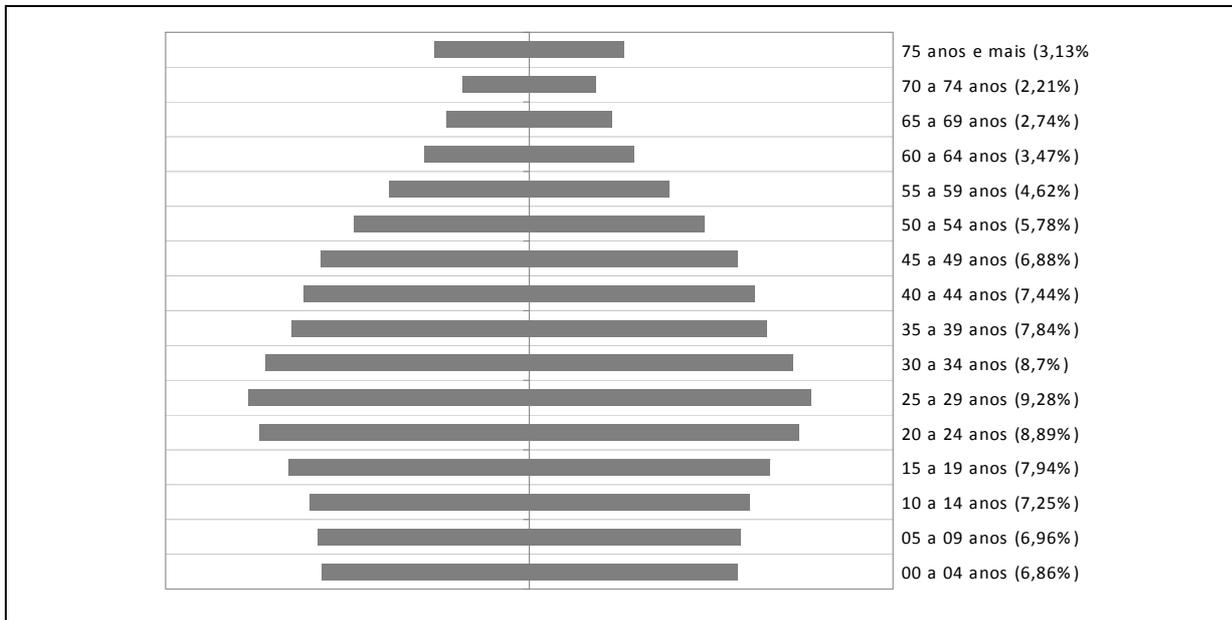


Figura 4.1 – Pirâmide Etária – São Carlos (SP). Estimativa para o ano 2007 (SEADE, 2010)

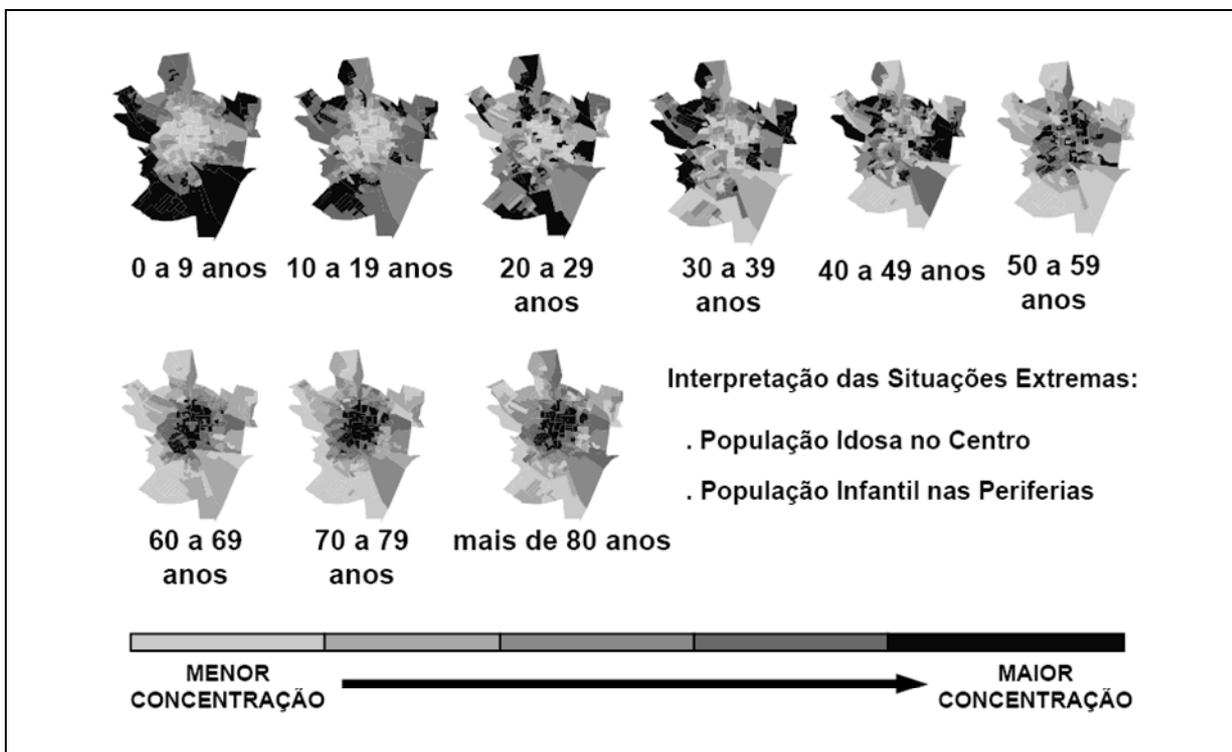


Figura 4.2 – Distribuição da população conforme a faixa etária. IBGE, (2000a); Adaptado de São Carlos (2007a).

Quanto à evolução histórica da ocupação urbana, até a década de 1950, a cidade se resumia ao que atualmente são as áreas centrais e o bairro Vila Prado. Houve uma grande ocupação da área urbana entre as décadas de 1950 e 1970, seguida por uma expansão fragmentada da ocupação até a década de 1990. Após 1990 e até os dias atuais, a área urbana são-carlense vem se estendendo nas regiões periféricas, sobretudo ao norte da cidade, caracterizada por loteamentos residenciais descontínuos ao tecido urbano já existente. O modo em que a ocupação se deu na cidade de São Carlos (SP) ao longo dos anos pode ser visualizado no mapa da Figura 4.2.

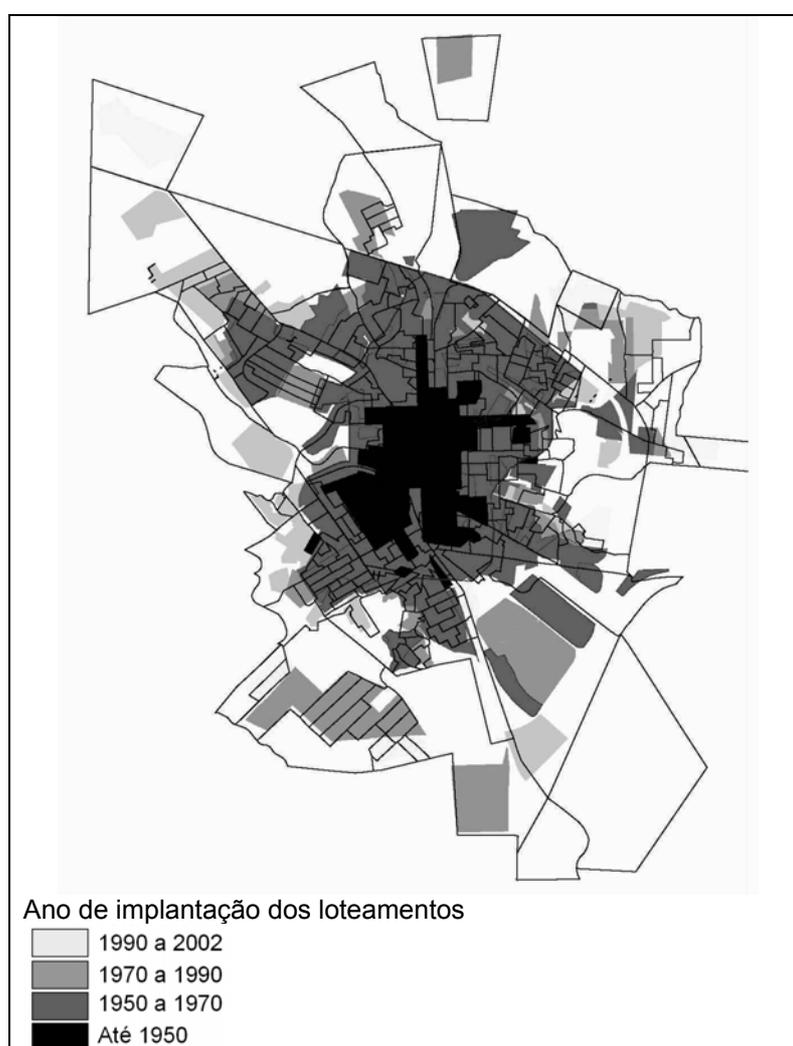


Figura 4.3 – Evolução histórica da ocupação urbana na cidade de São Carlos (SP). Adaptado de (SÃO CARLOS, 2007a)

Quanto ao uso do solo, São Carlos (SP) apresenta um uso misto predominante, aliado a uma ocupação de baixa densidade demográfica. Observa-se uma redução no uso residencial nas áreas centrais da cidade, as quais são cada vez mais ocupadas por estabelecimentos comerciais e de serviços. O uso residencial é crescente nas áreas periféricas da cidade, associado à implantação de condomínios residenciais horizontais. A atividade industrial concentra-se em distritos localizados a sul e sudeste da cidade. O mapeamento das áreas com uso misto está ilustrado na Figura 4.4. Os tipos de uso do solo mapeados na cidade de São Carlos (SP) estão indicados na Figura 4.5.

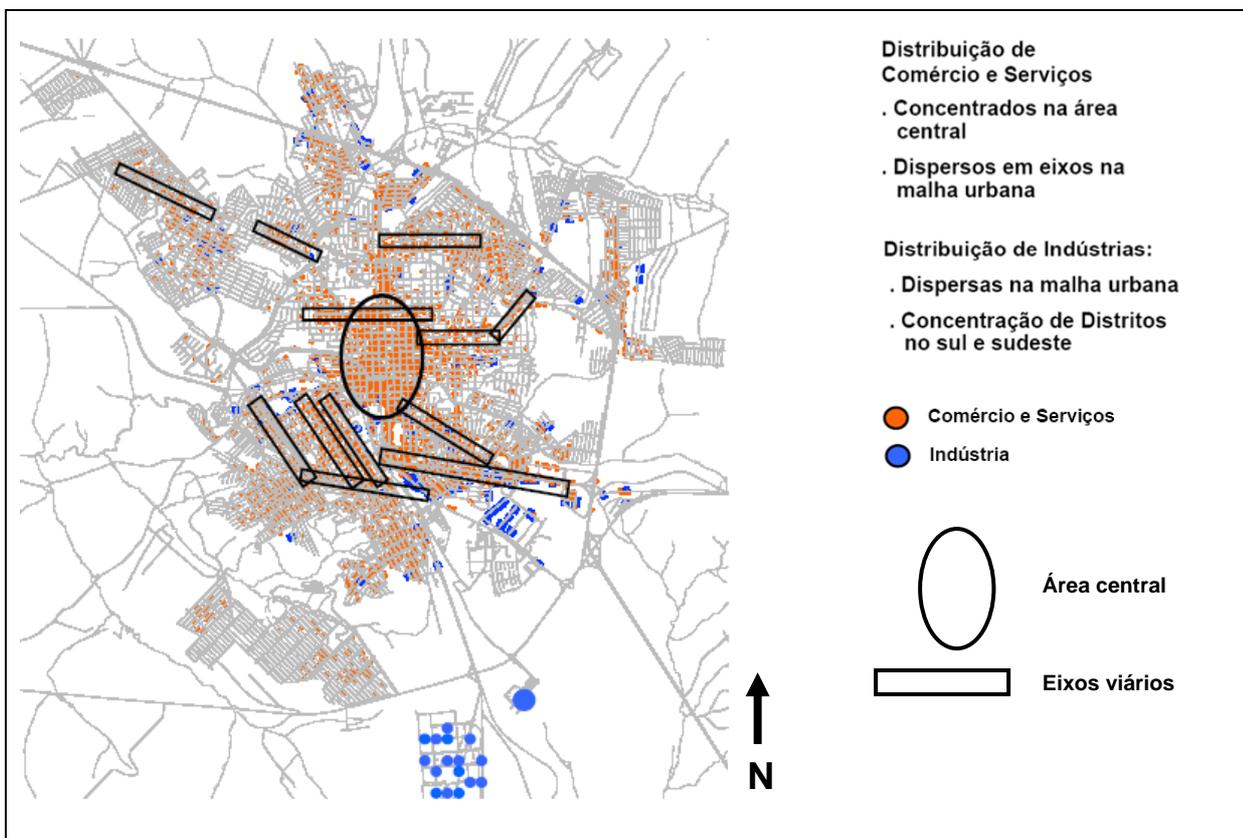


Figura 4.4 – Mapeamento das áreas com predominante uso misto. Adaptado de São Carlos (2007a)

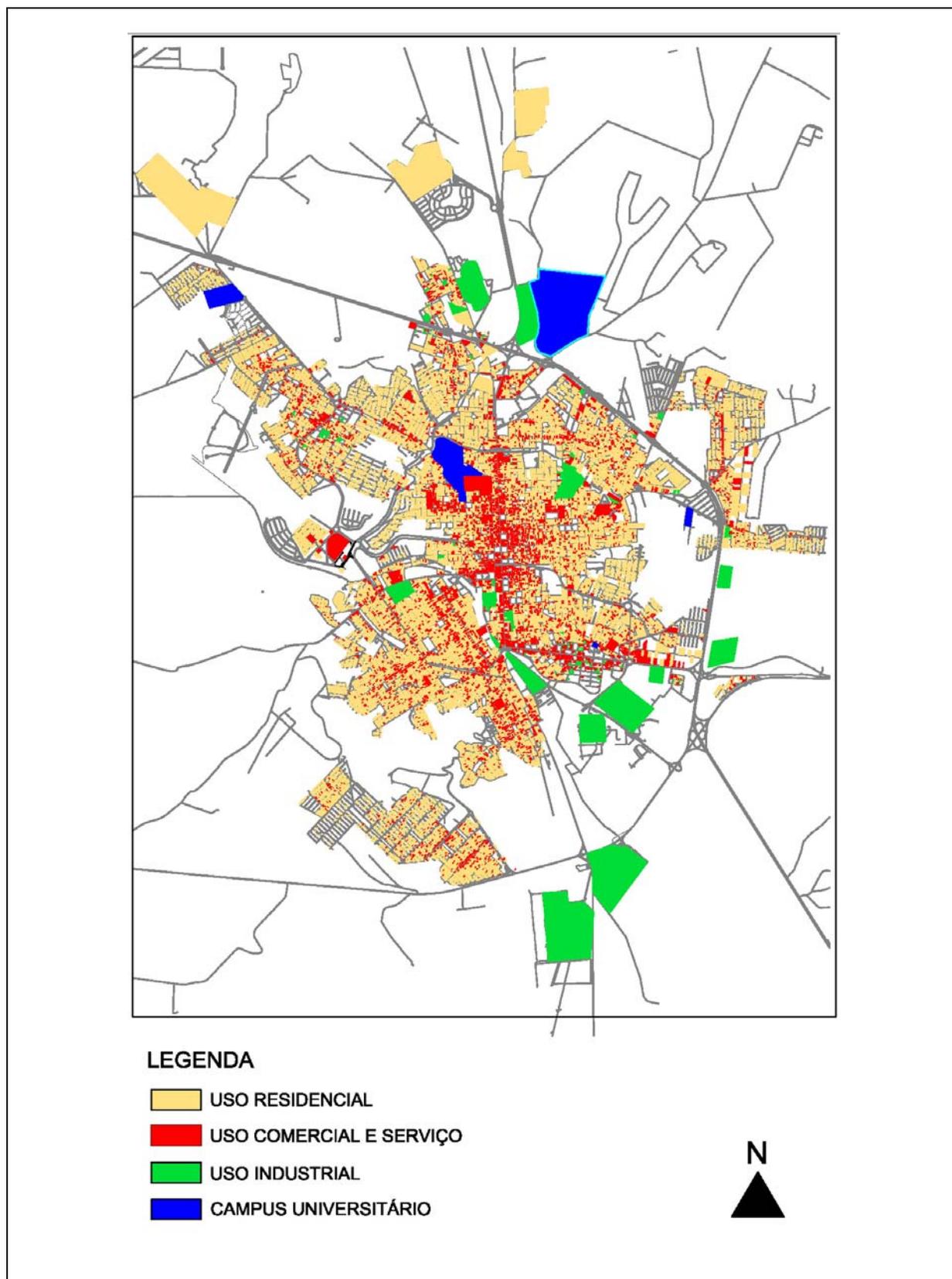


Figura 4.5 – Mapeamento do uso do solo na cidade de São Carlos (SP). Adaptado de São Carlos (2007c), com as atualizações descritas na seção 5.1.3 (Aplicação do Módulo 3)

Quanto à mobilidade, a maior parte das viagens diárias na cidade de São Carlos (SP) possui características intraurbanas, apresentando apenas 2,41% das viagens coletadas com perfil interurbano (SÃO CARLOS, 2007d). A cidade apresenta uma taxa de motorização de 344 automóveis por mil habitantes, que é um valor superior à média encontrada no Estado de São Paulo (268 automóveis por mil habitantes e à média brasileira (213 automóveis por mil habitantes) (BRASIL, 2007; 2009). Logo, as escolhas modais dos são-carlenses privilegiam o transporte privado, pois as condições socioeconômicas de grande parte dos moradores de São Carlos (SP) possibilitam arcar com os custos de aquisição e do uso do automóvel, tornando o uso de modos não motorizados ou públicos não atrativos economicamente aos moradores (SÃO CARLOS, 2007a).

A configuração viária da cidade possui um centro linear formado pela Avenida São Carlos e suas ruas paralelas, o qual concentra a maior parte das viagens, sobretudo as de transporte público. O traçado é estruturado com base no anel viário e nas vias radiais, que são antigas estradas rurais. A descontinuidade da comunicação viária são-carlense é consequência do crescimento fragmentado da ocupação urbana (SÃO CARLOS, 2007a). Na Figura 4.6 e na Figura 4.7 apresenta-se a hierarquia e a estrutura viária de São Carlos (SP), respectivamente. Os pontos de conflito no sistema viário estão mapeados na Figura 4.8.

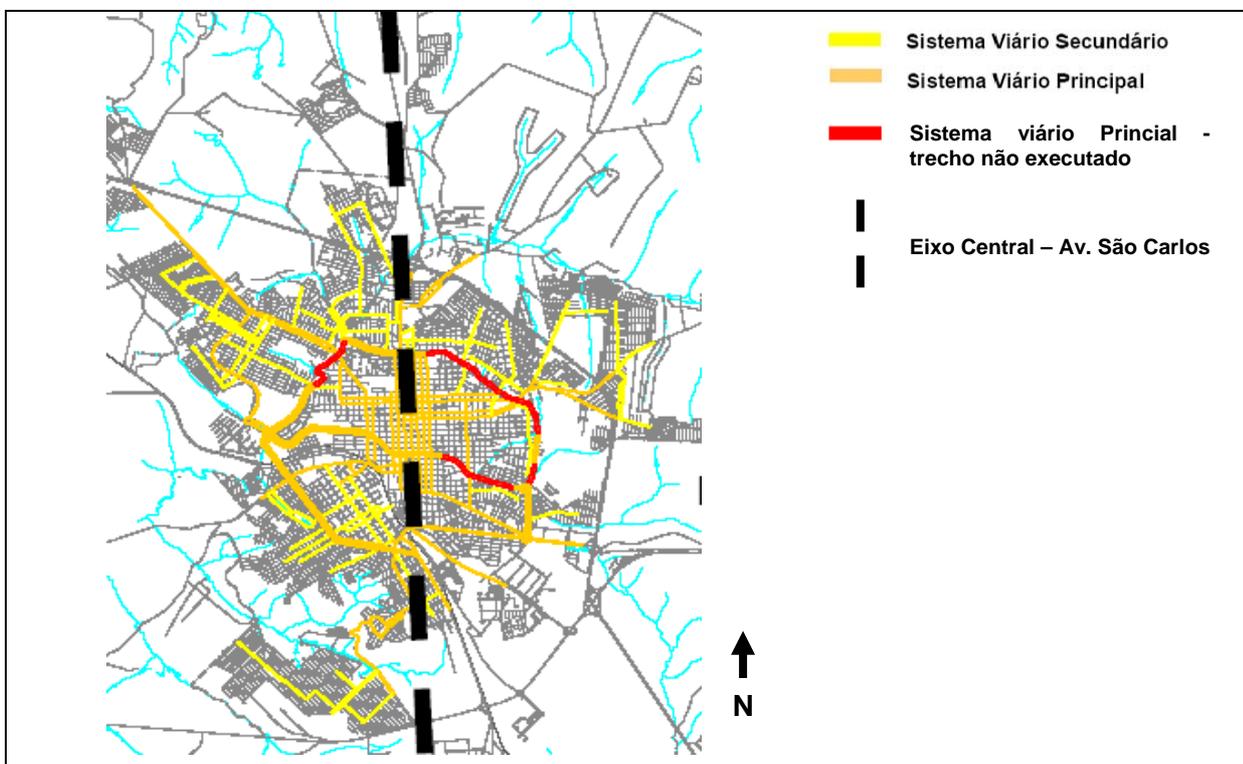


Figura 4.6 – Hierarquia Viária. Adaptado de São Carlos (2007a)

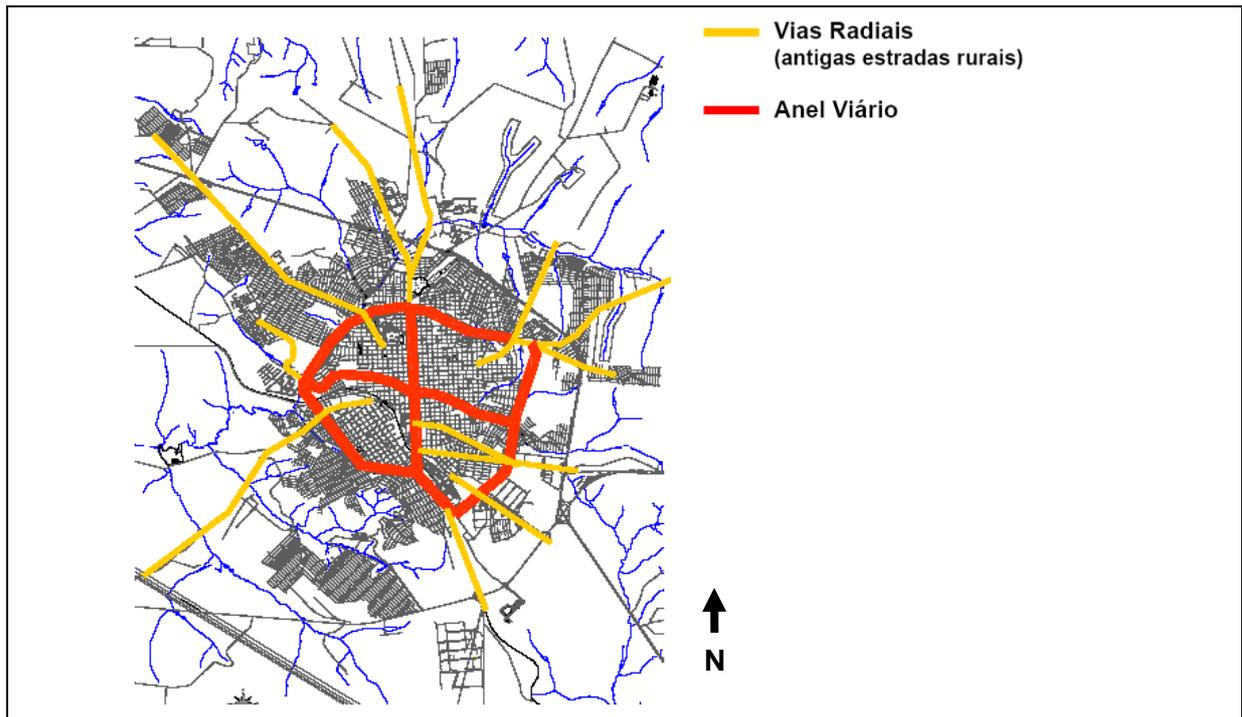


Figura 4.7 – Estrutura Conceitual do sistema viário. Adaptado de São Carlos (2007a)

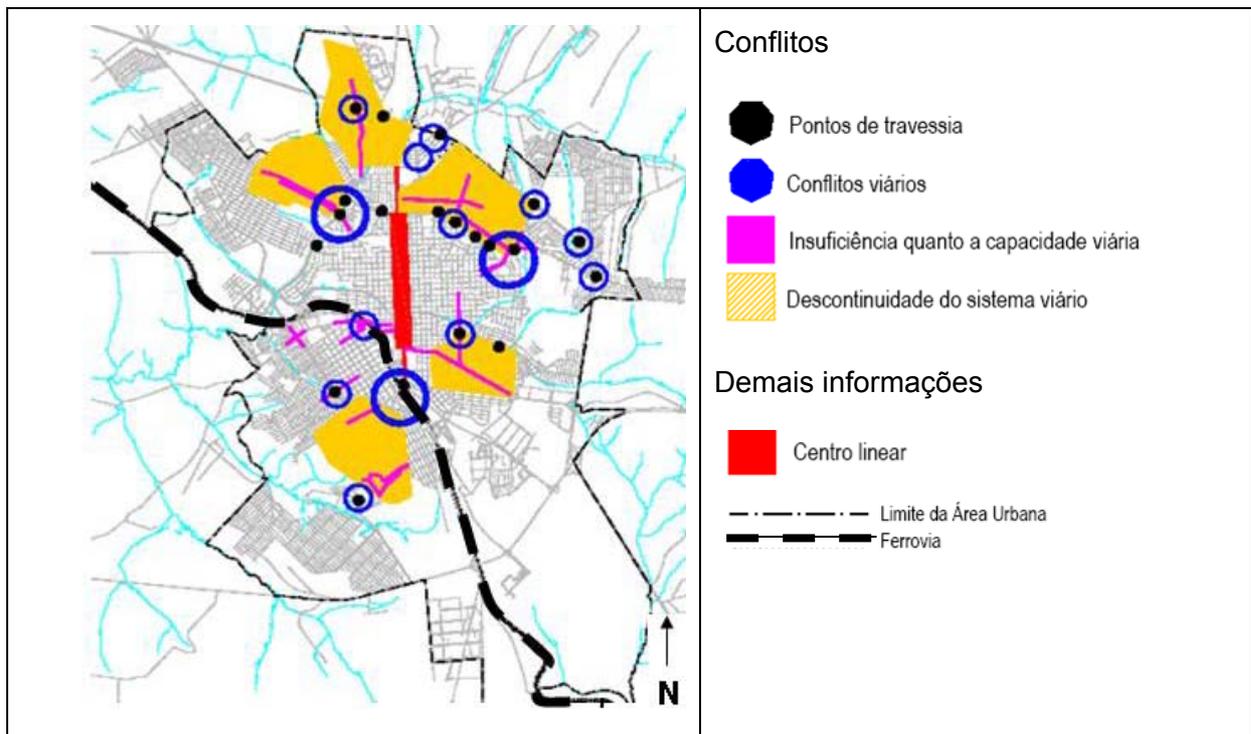


Figura 4.8 – Conflitos no sistema viário. Adaptado de São Carlos (2007a)

4.2 Delimitação das Unidades Espaciais de Análise (UEA)

Neste trabalho, a malha de setores censitários para a cidade de São Carlos (SP), elaborada por IBGE (2000b), foi adotada como base para a delimitação das UEAs. A unidade espacial desta malha é o setor censitário, que tem como definição uma área percorrida por um único entrevistador e uma unidade territorial usada para efeitos de amostragem. Sua delimitação é feita com base na quantidade de domicílios e área de abrangência (cerca de 300 domicílios em áreas urbanas e 150 domicílios em áreas rurais, com variações aceitáveis de +/- 50 domicílios (IBGE, 2005).

Desta forma, como a caracterização da origem das viagens no Modelo GDA tem como base os domicílios, justifica-se considerar os setores censitários como UEAs devido ao fato de que a quantidade de domicílios contemplada nestas unidades permanece homogênea. Além disto, as informações coletadas no censo são disponibilizadas em formato digital e são relacionadas ao arquivo geográfico da malha dos setores censitários, facilitando a inserção destes dados no modelo em termos computacionais.

A delimitação das UEAs também foi usada como base de agregação das informações nas etapas de organização e tratamento dos dados coletados para este trabalho. Logo, os resultados destas etapas, já vinculados às UEAs, formaram o conjunto de dados de entrada para o Modelo GDA. Nesta aplicação do Modelo GDA em São Carlos, foram consideradas 253 UEAs, ou seja, além dos 245 setores censitários já delimitados por IBGE (2000b), foram adicionadas 8 unidades para contemplar as áreas ocupadas pelos domicílios existentes em 2007, cujo método é descrito no item 4.5.3.1 (Método para expansão da matriz PA).

4.3 Dados sobre a configuração urbana: Bases geográficas

Para elaborar o ambiente de simulação, a configuração urbana da cidade de São Carlos (SP) foi definida a partir de três bases geográficas:

- (i) Localização dos domicílios: Arquivo geográfico de pontos, extensão DBD, obtido junto ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto da cidade - SAAE (SAAE, 2007), que contem a localização dos hidrômetros dos domicílios. Esta base foi usada como referência para geoespacializar as informações das provenientes da pesquisa OD.

- (ii) Rede viária usada pelo sistema de transporte público por ônibus: Base de dados composta por um arquivo geográfico de linhas, extensão DBD, e um arquivo de rede, extensão NET. Elaborada por Rocha (2010), a base reúne as vias em que estão alocadas as linhas dos ônibus. Esta base foi usada para a construção de uma matriz de distâncias entre os centróides das UEAs do modelo.
- (iii) Delimitação das UEAs: Arquivo geográfico de polígonos com a delimitação dos setores censitários. Disponível para download na extensão *SHP* (IBGE, 2000b). Este dado foi usado para configurar as UEAs que são adotadas pelo modelo, sendo a base para armazenar os dados de entrada e saída dos módulos. Além disto, é a base para agregar os dados sociodemográficos extraídos da pesquisa OD.

Todas as bases possuem o georreferenciamento nos seguintes parâmetros: (i) Sistema de Projeção: *Universal Transverse Mercator (UTM)*, fuso 23-S; (ii) Elipsóide de referência: *World Geodetic System 1984 (WGS84)*. O Anexo A contém estes arquivos geográficos.

4.4 Dados sobre os domicílios e seus moradores: pesquisa OD

Neste trabalho, foram usados parte dos dados da pesquisa OD realizada na cidade de São Carlos (SP) em 2007, especificamente os dados da Entrevista Domiciliar (ED) e da Pesquisa baseada nas Atividades Diárias (PAD). Os dois métodos de coleta consistiram em entrevistas nos domicílios na área de estudo com o objetivo de levantar informações sobre as viagens de cada morador, bem como informações socioeconômicas do domicílio. Segundo Silva (2008), foram obtidas as informações cadastrais junto ao SAAE, o qual forneceu um arquivo geográfico de pontos referentes ao cadastro dos hidrômetros dos domicílios (SAAE, 2007). Com base neste cadastro, foram coletadas para a ED informações de um dia de viagem, com uma amostra equivalente a 5% dos domicílios da área urbana, já para a PAD foram coletadas informações de 2 dias de viagem, PAD_1 e PAD_2, com uma amostra de 1%. Um resumo dos dados levantados na pesquisa está na Tabela 4.1. Demais detalhes sobre o planejamento e execução da pesquisa OD na cidade de São Carlos (SP) são encontrados em Silva (2008).

Tabela 4.1 – Resumo quantitativo sobre os dados coletados na ED; PAD_1 E PAD_2.

Tipo de pesquisa	Amostra	Domicílios** (%)	Moradores	Viagens	Moradores/ Domicílio	Viagens/ Morador	Viagens/ Domicílio
ED*	3123	3058 (98%)	10085	14634	3,3	1,5	4,8
PAD_1	312	308 (99%)	994	2466	3.2	2,5	8,0
PAD_2	312	219 (70%)	835	2094	3.8	2,5	9,0

*(SILVA, 2008)

** Neste campo, considera-se os registros de domicílios com dados válidos para a pesquisa OD. A porcentagem é com relação à amostra.

As características sociodemográficas dos moradores entrevistados na pesquisa ED foram usadas como base de dados de entrada para o modelo GDA para caracterizar o domicílio e seus moradores. O uso destes dados justifica-se pelo fato de que a base de dados sociodemográficos disponível para São Carlos (SP) provém do levantamento censitário do ano 2000 (IBGE, 2000a), e já se mostra desatualizada frente à época em que foi feita a pesquisa OD. Assim, foram consideradas as informações sobre o número de moradores por domicílio, bem como a idade, a situação domiciliar e as atividades diárias dos moradores. Observa-se que, neste caso, as informações sobre as atividades diárias estão vinculadas aos registros de viagem do morador. Contudo, vale salientar que apenas o motivo do deslocamento foi observado, cujo dado foi vinculado ao perfil do morador (quanto à idade e situação domiciliar do mesmo) e não à localização do domicílio. Logo, não foram considerados demais dados acerca da viagem, como locais de origem e de destino do deslocamento e distância percorrida.

Por outro lado, para a etapa de validação das estimativas do modelo GDA, os dados de viagens diárias dos moradores entrevistados nas três amostras, ED, PAD_1 e PAD_2, foram consideradas. Neste caso, foram observados a origem, o destino e a distância percorrida das viagens.

Para obter estas informações foram analisados os registros de domicílios da pesquisa ED que continham dados válidos, ou seja, registros com dados sociodemográficos e de viagem completos, totalizando 12 109 registros, aproximadamente 83% da amostra. Estas informações foram vinculadas ao arquivo geográfico de pontos (SAAE, 2007), constituindo a base para a espacialização dos dados e, posteriormente, para caracterizar as UEAs do modelo.

4.5 Tratamento de dados da pesquisa OD

Com o objetivo de melhor ajustar os dados observados na pesquisa OD à estrutura do Modelo GDA, foram propostos métodos de tratamento de dados específicos à aplicação deste modelo em São Carlos (SP). Nesta seção são descritos os procedimentos de alocação dos pontos de destino das viagens e da expansão da matriz PA.

4.5.1 Alocação dos pontos de destino das viagens

Como os registros de viagem da pesquisa OD continham apenas a localização geográfica da origem dos deslocamentos, ou seja, do domicílio, foi necessário alocar o destino das viagens em uma base geográfica. Logo, em uma plataforma SIG, cada destino de viagem foi associado a um ponto geográfico da base na base de localização dos domicílios (SAAE, 2007). Como esta base se refere apenas aos domicílios, alguns pontos não foram encontrados, como campi universitários, centros comerciais e indústrias, por exemplo. Desta forma, foi necessária a complementação desta base por meio da criação de novos pontos que pudessem ser associados a estas instituições e áreas comerciais ou industriais.

Devido a problemas na coleta de dados, como falta de especificações do endereço de destino, e a existência de viagens fora do perímetro urbano, 17% do total da amostra ED e 7% das amostras PAD_1 e PAD_2 foram descartados dos registros da coleta. Além disto, foram adotadas as seguintes simplificações na alocação dos destinos: destinos que indicavam apenas o bairro “Centro” foram associados o ponto junto à Catedral de São Carlos Borromeu (Av. São Carlos, 0), marco zero da cidade, pois é um local próximo de diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, além da proximidade de um ponto de embarque / desembarque usado pela maioria das linhas de transporte público; destinos que especificavam apenas o nome do bairro foram adotados pontos quaisquer dentro dos limites do mesmo; destinos que especificavam apenas o nome da rua foram adotados pontos quaisquer associados à mesma.

A quantidade de viagens associadas aos 20 destinos mais pontuados, bem como a localização destes destinos, é ilustrada no Anexo B. Devido às simplificações descritas, considera-se a localização do ponto como sendo um local aproximado do destino da viagem. Por exemplo, no caso do ponto da Catedral, cuja localização foi associada a

diversas viagens que indicavam o bairro Centro como destino de viagem, não expressa necessariamente que todos os indivíduos foram para a Catedral e sim que também podem ter ido para locais próximos, como o Mercado Municipal, lojas, bancos e demais estabelecimentos comerciais e de serviços.

4.5.2 Determinação das atividades diárias

De acordo com o levantamento dos motivos das viagens diárias, obtido pela pesquisa OD, foi possível vincular a estes motivos as atividades diárias do morador, bem como relacioná-la com a sua posição na estrutura domiciliar. Ou seja, estimar a probabilidade do morador escolher uma determinada atividade, considerando uma determinada idade e uma determinada situação domiciliar. Estes dados foram usados na aplicação do Módulo 2 (Definição das Atividades) e estão expostos na seção 5.1.2 (Aplicação do Módulo 2). Para esta análise foram consideradas as amostras da ED, pois esta é a maior amostra obtida pela pesquisa OD.

Por fim, para a análise das atividades diárias foram extraídos da ED apenas os registros que as especificavam de forma completa, ou seja, o motivo do deslocamento da viagem de ida (ex: trabalho) e da volta (ex: residência), formando o dado completo (ex: residência – trabalho – residência). Somente 2 736 registros de viagem tinham este dado completo, representando 18% da amostra coletada na ED. Logo, a falta de informação reduziu a amostra de domicílios para esta análise, cujo montante foi de 775 domicílios, significando 25% da amostra da ED.

4.5.3 Expansão da matriz Produção-Atração (PA)

As matrizes Produção-Atração (PA) são arranjos de dados em m linhas e n colunas, nas quais cada linha m é referente às UEAs e cada coluna n é referente aos campos Produção - Atração de viagens, sendo que o valor da célula (m,n) é a estimativa de viagem referente à UEA da linha m no campo da coluna n .

A produção de viagens é baseada na população residente e nos domicílios, que, considerando o levantamento da pesquisa OD, as viagens residenciais representam aproximadamente 95% das viagens coletadas por esta pesquisa. Desta forma, foi necessária a expansão da matriz PA de acordo com uma relação entre a amostra coletada e a população total do município no ano de 2007. Foram consideradas as três amostras da pesquisa OD: Entrevista domiciliar (ED) e pesquisa baseada nas Atividades Diárias, computando os dois dias de viagem (PAD_1 e PAD_2).

O objetivo da expansão da matriz PA é estimar o total de viagens produzidas e atraídas para cada setor. Uma referência para estimar a expansão de uma matriz PA encontra-se em Ortúzar e Willumsen (1994, p.85), cujo cálculo considera a densidade habitacional para estimar tanto a produção quanto a atração de viagens, conforme a Equação (21),

$$F_i = \frac{A - A(C + CD/B)/B}{A - C - D} \quad (21)$$

em que F_i é o fator de expansão das viagens para a zona i , A é o número total de domicílios na população real, B é o número de domicílios da amostra, C é o número de amostras não elegíveis na prática (ou seja, domicílios demolidos ou de uso não-residencial) e D é o número de amostras para as quais não foram obtidas respostas na entrevista.

Observa-se que, alguns setores, sobretudo os localizados em áreas centrais e em áreas industriais, apresentam baixa produção de viagem devido à baixa população residente, porém uma alta atração de viagens devido às atividades ali desenvolvidas. Logo, esta atração não é explicada pela densidade populacional e sim por outras variáveis relacionadas ao uso do solo, como empregos e prestação de serviços. Na Figura 4.9 está ilustrado um mapa com os valores de quantidade de viagens por população residente em uma escala que representa a média e o desvio padrão, no qual são destacadas as UEAs com os valores superiores e inferiores à média encontrada. Como pode ser observado nesta figura, as UEAs situadas na área central e as que abrigam áreas industriais e campi

universitários têm uma proporção maior de viagens atraídas por população residente do que os demais setores. Assim, o cálculo proposto Equação (21) subestima as viagens para estas áreas. Por este motivo, esta pesquisa adotou outros procedimentos para a expansão da matriz PA, cuja explicação se encontra na seção a seguir.

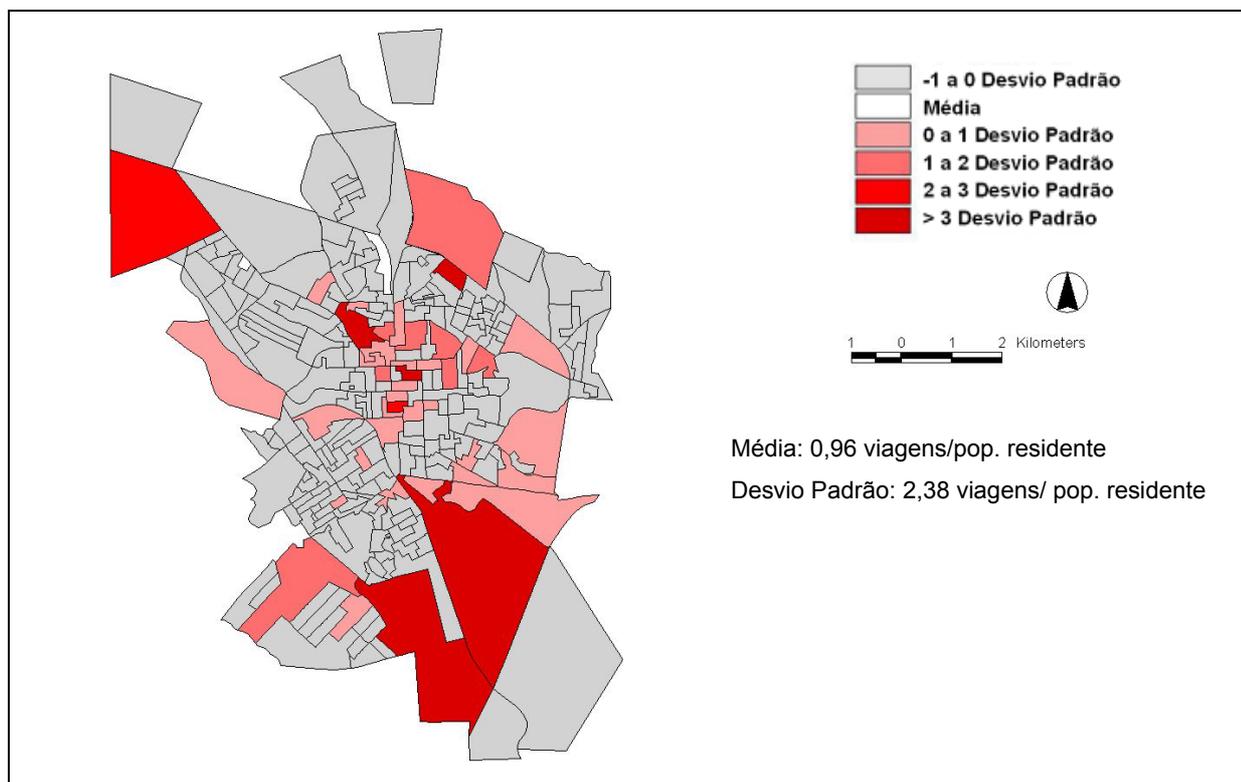


Figura 4.9 – Viagens atraídas por população residente na UEA

4.5.3.1 Método para expansão da matriz PA

Para expandir a matriz PA de São Carlos (SP) foram feitos os seguintes procedimentos:

- 1) Atualização da base das UEAs:
 - a. Algumas amostras da pesquisa OD foram coletadas em domicílios fora da área coberta pelos setores censitários, as delimitam as UEAs. Para ajustar os dados coletados na pesquisa OD à base geográfica dos setores censitários foram adicionados novos setores nesta base, atualizando a base geográfica das UEAs, que passa a ter 253 unidades. Estes novos setores foram delimitados apenas para este trabalho e não fazem parte da malha de setores censitários oficial do IBGE. A localização destes novos setores é ilustrada na Figura 4.10.



Figura 4.10 – Localização das novas UEA

2) Estimativa da população

- a. Para estimar a população da amostra, foram considerados 3,5 moradores por domicílio, pois é o valor médio obtido na amostra de registros válidos da ED (83% da amostra original).
- b. Para estimar a população real em cada UEA, foram considerados os seguintes passos:
 1. Para áreas não existentes na base dos setores censitários (IBGE, 2000b):
 - a. *Nas áreas com pontos da base de domicílios (SAAE, 2007):* Foi verificado o arquivo geográfico dos domicílios (SAAE, 2007) e, como se trata de loteamentos de casas unifamiliares, o número de domicílios foi multiplicado por 3,5 (média de moradores) para estimar a população.
 - b. *Nas áreas com loteamento já existente em 2007, mas que não constam na base de domicílios (SAAE, 2007):* os domicílios destes loteamentos foram alocados nesta base com o auxílio de imagens de satélite. Foram coletadas imagens do Google Earth⁷ dos

⁷ Google Earth é um programa de computador desenvolvido e distribuído pela empresa americana Google cuja função é apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas. (GOOGLE, 2011)

loteamentos Dahma, Embaré, Bosque e Samambaia (GOOGLE EARTH, 2010a; 2010c; 2010b). Apesar de não oferecer uma precisão quanto aos atributos geográficos, foi escolhido Google Earth como fonte de aquisição das imagens pois entende-se que a localização aproximada das edificações na área de estudo é suficiente para este levantamento. Estas imagens foram georreferenciadas no programa TransCAD e, após, os domicílios foram alocados por meio da criação de novos pontos nesta base. Da mesma forma, como se trata de casas unifamiliares, o valor total de domicílios levantados foi multiplicado por 3,5 (média de moradores nos domicílios) para estimar a população residente. Estas imagens e os pontos com a localização dos domicílios podem ser visualizados na Figura 4.11. Como as imagens foram captadas no ano 2010, e este trabalho tem como referência para os dados o ano base de 2007, nem todas os domicílios foram alocados, considerando apenas as que estão próximas das vias delimitadas no mapeamento viário (SÃO CARLOS, 2007b). Isto ocorre, por exemplo, na localização dos domicílios do loteamento Dahma.

2. Para áreas já existentes na base dos setores censitários (IBGE, 2000b):
 - a. A estimativa de população para 2007 (ano da coleta da pesquisa OD) obtida pelo SEADE (2010) foi considerada neste passo. A esta população foi subtraído o valor de população total já calculado nas áreas não existentes na base dos setores censitários (IBGE, 2000b) (passo anterior, etapa 1), partindo da hipótese que estes novos loteamentos foram considerados na estimativa feita pelo SEADE (2010).
 - b. A distribuição da população nos setores censitários em 2000 foi observada, visando obter a porcentagem da população que está em cada setor censitário.
 - c. Esta proporção foi usada para distribuir nos setores a população estimada em 2007. Isto foi feito para manter a proporção da densidade populacional entre os setores, nos quais se encontram diversos tipos de unidades domiciliares (unifamiliares e multifamiliares).

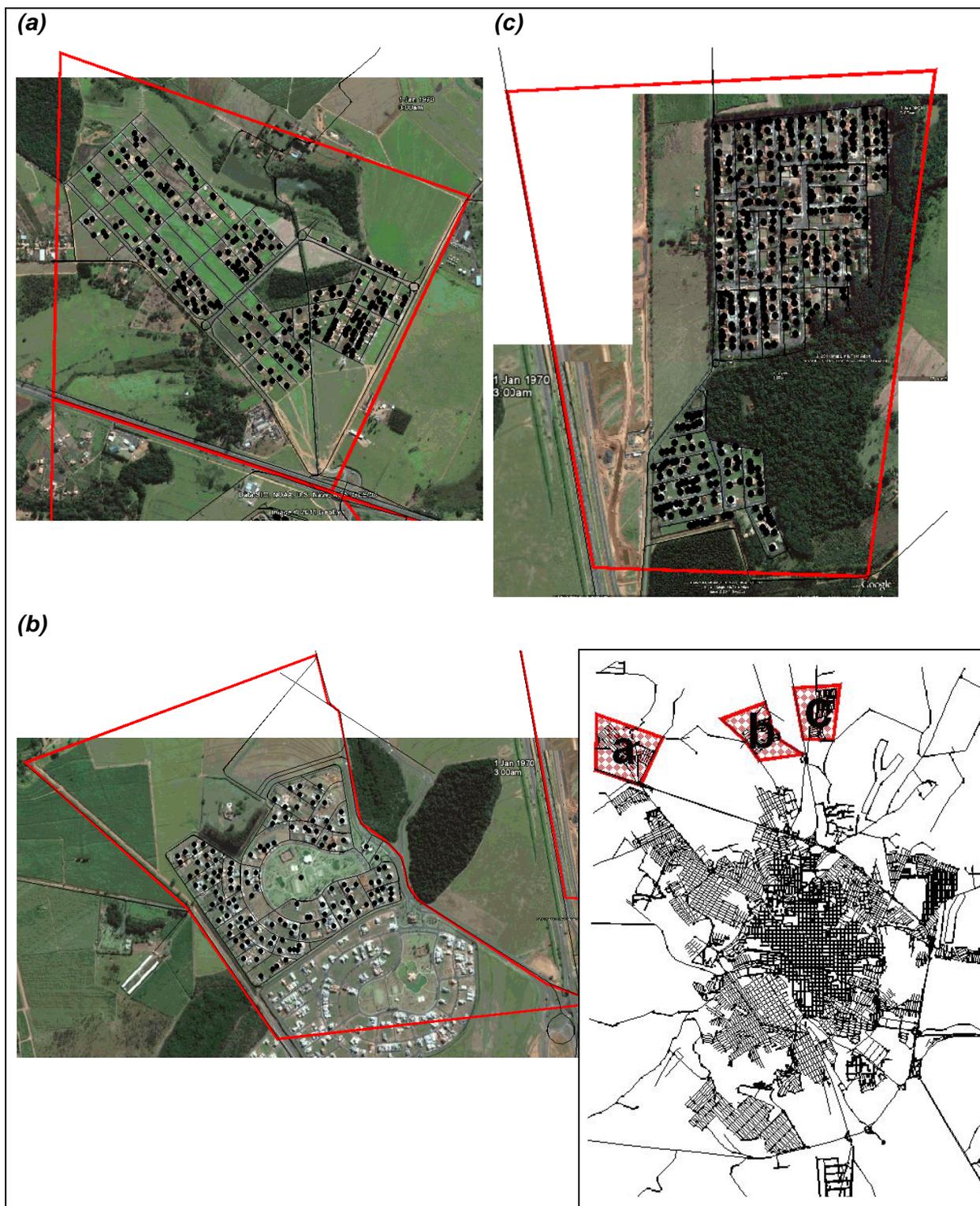


Figura 4.11 – Imagens georreferenciadas usadas para o levantamento dos domicílios nos loteamentos não contemplados pela base dos setores censitários (IBGE, 2000b) e dos domicílios (SAAE, 2007): (a) Embaré, (b) Samambaia e Bosque, (c) Dahma

3) Estimativa das viagens

a. Para expandir a produção de viagens:

1. Na amostra foram consideradas somente as viagens cujo início do deslocamento representa o local do domicílio, pois somente as viagens residenciais são contempladas pelo Modelo GDA;
2. Os pontos de origem das viagens produzidas foram agregados à UEA em que o domicílio pertence;
3. Foram extrapoladas as viagens produzidas de acordo com a estimativa da população na UEA. Foi adotada a Equação (22), que é semelhante à Equação (21),

$$Exp_i = \frac{P \times V}{A} \quad (22)$$

em que Exp_i é o número de viagens expandidas na zona i , P é a população real na UEA i , V é o número de viagens da amostra da UEA i e A é a população coletada na amostra da UEA i .

b. Para expandir a atração de viagens:

1. Foi observada na amostra a distribuição das viagens com origem não-residencial entre as UEAs, visando obter uma porcentagem de viagens para cada UEA. Considerando que o montante de viagens produzidas é igual ao de atraídas, o valor obtido em (22) foi repartido entre os setores conforme esta porcentagem.

Algumas UEAs não possuem amostras, o que dificulta a estimativa das viagens para estes locais. Entretanto, foi estimado um valor de viagens nas UEAs que tinham população residente e, logo, tinham a possibilidade de produzir ou atrair viagens. Desta forma, considerando as viagens estimadas nas UEAs com amostras, foi feita uma regressão linear em que a variável dependente (x) é a população e a variável independente (y) é o número de viagens expandidas e, com a função obtida, foram estimados os valores de viagens para as UEAs sem amostras, mas com população residente. Os parâmetros desta regressão linear estão no Apêndice A. A média entre os valores obtidos nas amostras ED, PAD_1 e PAD_2 foi usada como dados observados de produção e atração de viagens. A estimativa de viagens produzidas e atraídas para cada amostra da pesquisa OD, bem como o valor médio, está no Apêndice L.

4.5.3.2 Comparação entre o método proposto e o método de Ortúzar e Willumsen (1994)

Para comparar o método proposto (M1) e o método de Ortúzar e Willumsen (1994) (M2), foram considerados os resultados da expansão da matriz PA que utilizou apenas a amostra da ED. Logo, ao analisar os resultados obtidos por (M1) e por (M2), é possível verificar que, entre as somas totais, com relação a M1, M2 estima aproximadamente 3% e 4% a menos de viagens produzidas e atraídas, respectivamente. Se for considerada uma margem de 5% de erro, esta diferença não é significativa.

Entretanto, considerando os valores das UEAs na comparação entre M1 e M2, são encontradas diferenças superiores aos 5% de erro em áreas centrais, pólos industriais e áreas periféricas, conforme mostra a Figura 4.12.



Figura 4.12 – Diferença entre as estimativas de produção e atração de viagens pelos métodos M1 e M2 – amostra ED

As possíveis explicações para estas diferenças são:

- a. *Áreas centrais*: Apesar de apresentarem uma baixa densidade populacional, estas áreas representam um pólo atrator devido às atividades ali desenvolvidas, como comércio e serviços. Logo, M2 subestima as viagens atraídas para este local.
- b. *Pólos industriais*: semelhante ao que ocorre nas áreas centrais, M2 subestima as viagens para estes setores.
- c. *Áreas periféricas com loteamentos de uso estritamente residencial*: Apesar de serem locais de produção de viagem, devido à população residente, não representam pólos de atração de viagens, pois não implicam em atividades além da habitação. Logo, M2 superestima as viagens atraídas para estes setores.

Estas situações podem ser visualizadas a partir dos mapas contidos na distribuição das viagens produzidas e atraídas está ilustrada na Figura 4.13 e na Figura 4.14, nos quais os resultados de M1 e M2 são comparados às amostras coletadas na pesquisa ED. Para analisar estes resultados em conjunto foram feitos mapas temáticos cujos valores estão divididos em classes conforme a média e o desvio padrão.

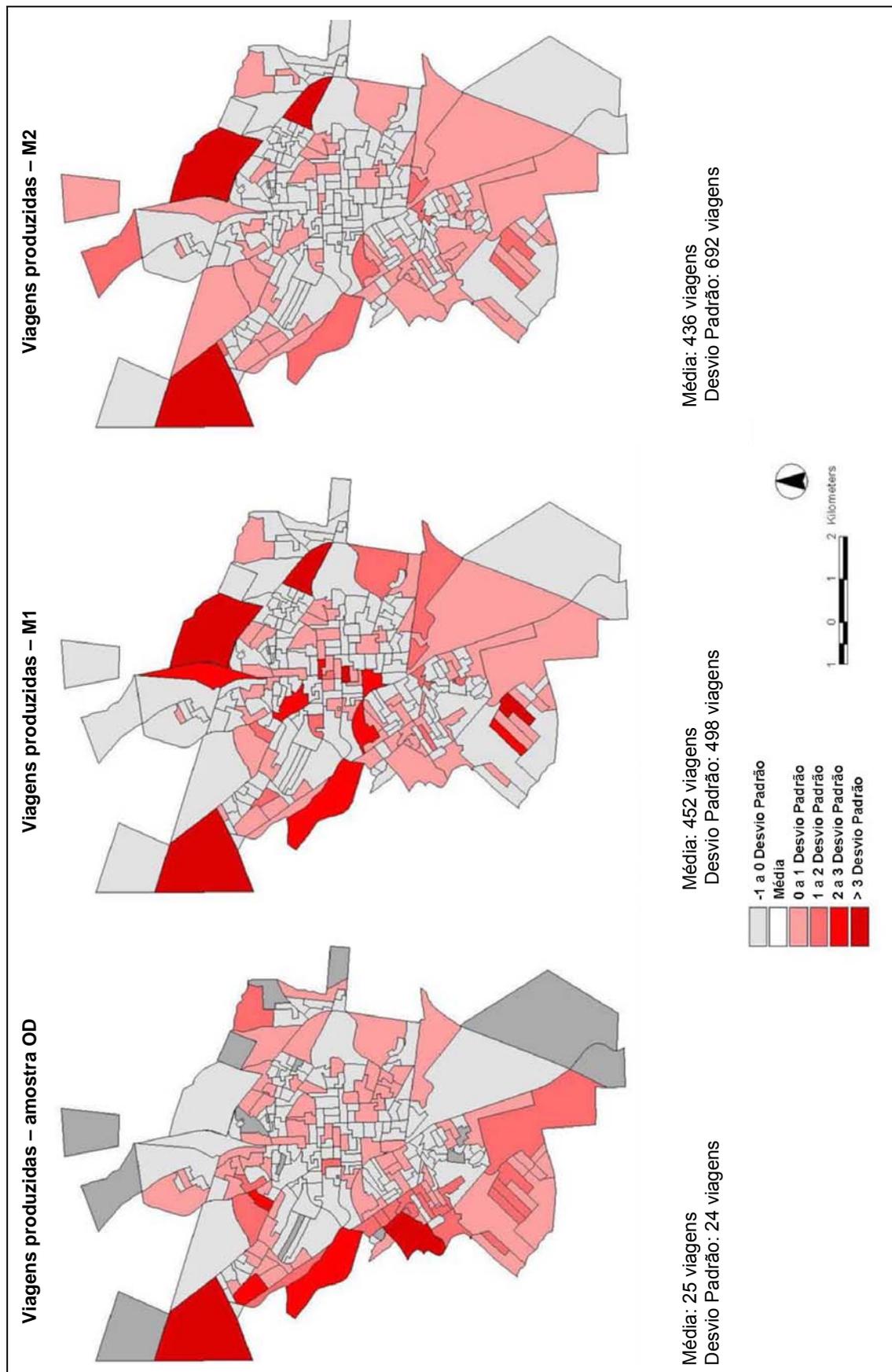


Figura 4.13 – Viagens produzidas : Comparação entre a amostra ED e resultados de M1 e M2



Figura 4.14 – Viagens atraídas: Comparação entre a amostra ED e resultados de M1 e M2

5 APLICAÇÃO DOS MODELOS GDA E GRAVITACIONAL

O objetivo desta etapa foi aplicar o Modelo GDA na área de estudo selecionada para este trabalho, que é a cidade de São Carlos (SP). Logo, o propósito desta aplicação foi conjugar a realidade observada na área de estudo e a estrutura proposta pelo modelo, visando inserir as informações que possam melhor caracterizar as variáveis e ponderando as simplificações necessárias para traduzir estas informações. Também foi implementado um modelo gravitacional para a área de estudo, o que permite discutir de forma comparativa os resultados do Modelo GDA.

Assim, num primeiro momento, descreve-se a adaptação da estrutura do Modelo GDA a uma situação real, tanto relativo à seleção e formatação dos dados brutos para serem inseridos no modelo, quanto à capacidade dos resultados retratarem o comportamento da geração e da distribuição de viagens na cidade de São Carlos (SP). São abordadas as etapas de aplicação do modelo, como a configuração e execução de cada um dos módulos.

Num segunda momento, são esclarecidos os critérios usados para a aplicação do modelo gravitacional, cujos procedimentos contaram com o auxílio das ferramentas do SIG TransCAD.

5.1 Aplicação do Modelo GDA

Ao aplicar o Modelo GDA em uma área urbana real foi necessário estabelecer critérios para construir os módulos de acordo com a informação disponível para a área de estudo. Estes critérios foram direcionados conforme as características dessa área, como aspectos sociodemográficos, morfológicos e históricos, e adaptados à estrutura do Modelo GDA. As especificidades necessárias para a construção e implementação de cada um dos módulos são abordadas nas seções seguintes.

5.1.1 Aplicação do Módulo 1

O objetivo do Módulo 1 é obter uma estimativa inicial de produção de viagens. Para a aplicação deste módulo são necessárias as seguintes informações sobre a área de estudo:

- (i) Distribuição dos domicílios quanto ao número de moradores: Dado usado para associar os agentes que representam a população (*Ag_people*) aos agentes que representam os domicílios (*Ag_house*), de forma a caracterizar estrutura domiciliar. Para estimar esta distribuição foram observados os dados da amostra da pesquisa ED. Os resultados desta observação e os obtidos pela aplicação do Módulo 1 estão indicados na Tabela 5.1 e na Figura 5.1. Nota-se que o Modelo GDA subestimou os domicílios com dois moradores, mas esta diferença foi compensada com as superestimativas encontradas nos grupos de domicílios com quatro e com cinco moradores.

Tabela 5.1 – Valores numéricos da distribuição dos domicílios quanto ao número de moradores

Número de moradores por domicílio	Frequência Relativa Estimada pelo Modelo GDA	Frequência Relativa Observada pela pesquisa ED	Diferença entre as frequências
1	5%	5%	0%
2	20%	23%	-3%
3	27%	27%	0%
4	26%	25%	2%
5	14%	12%	1%
6	5%	5%	0%
7	2%	2%	0%
8	1%	1%	0%

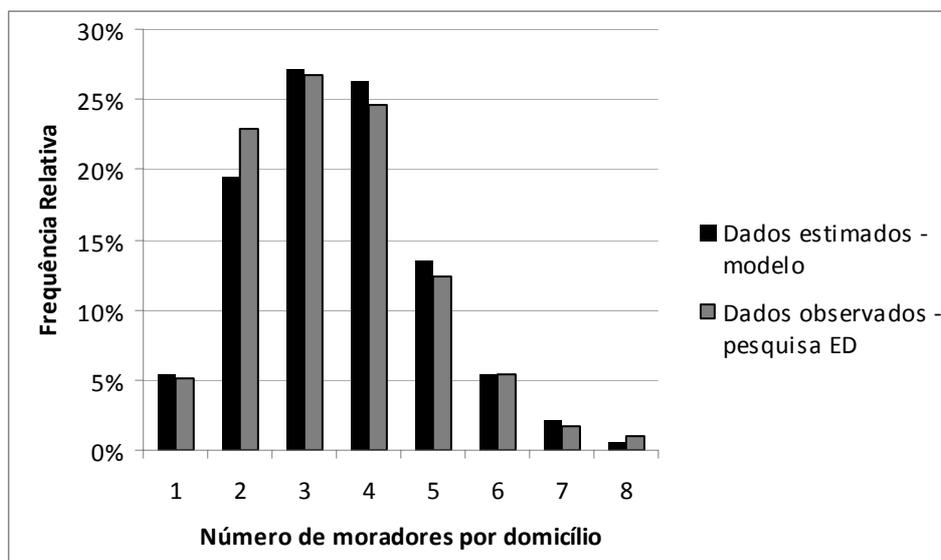


Figura 5.1 – Distribuição dos domicílios quanto ao número de moradores

- (ii) Distribuição da população quanto à idade: Dado usado para caracterizar os agentes que representam os moradores (*Ag_people*) quanto à idade. Os dados observados são provenientes do SEADE (2011), que apresenta uma estimativa de distribuição etária para o ano de 2007, ano no qual foi feita a pesquisa OD. A distribuição observada e a estimada resultante da aplicação do Módulo 1 estão indicadas na Tabela 5.2 na Figura 5.2. Não foram observadas diferenças entre os dados observados e estimados em termos de frequência relativa.

Tabela 5.2 – Valores numéricos da distribuição da população por faixa etária

<i>Faixa Etária</i>	<i>População Dados observados (SEADE, 2010)</i>	<i>População Dados estimados Módulo 1</i>	<i>População Dados observados (SEADE, 2010)</i>	<i>População Dados estimados Módulo 1</i>	<i>Diferença</i>
00 a 04 anos	14579	14997,0	7%	7%	0%
05 a 09 anos	14800	15229,9	7%	7%	0%
10 a 14 anos	15417	15855,5	7%	7%	0%
15 a 19 anos	16882	17358	8%	8%	0%
20 a 24 anos	18897	18959,1	9%	9%	0%
25 a 29 anos	19723	19561,3	9%	9%	0%
30 a 34 anos	18485	18216,5	9%	9%	0%
35 a 39 anos	16657	16460,8	8%	8%	0%
40 a 44 anos	15817	15684,6	7%	7%	0%
45 a 49 anos	14615	14423,3	7%	7%	0%
50 a 54 anos	12284	12128,4	6%	6%	0%
55 a 59 anos	9826	9646,37	5%	5%	0%
60 a 64 anos	7369	7211,13	3%	3%	0%
65 a 69 anos	5821	5686,3	3%	3%	0%
70 a 74 anos	4688	4582,61	2%	2%	0%
75 anos e mais	6650	6509,24	3%	3%	0%
Total	212510	212510	100%	100%	0%

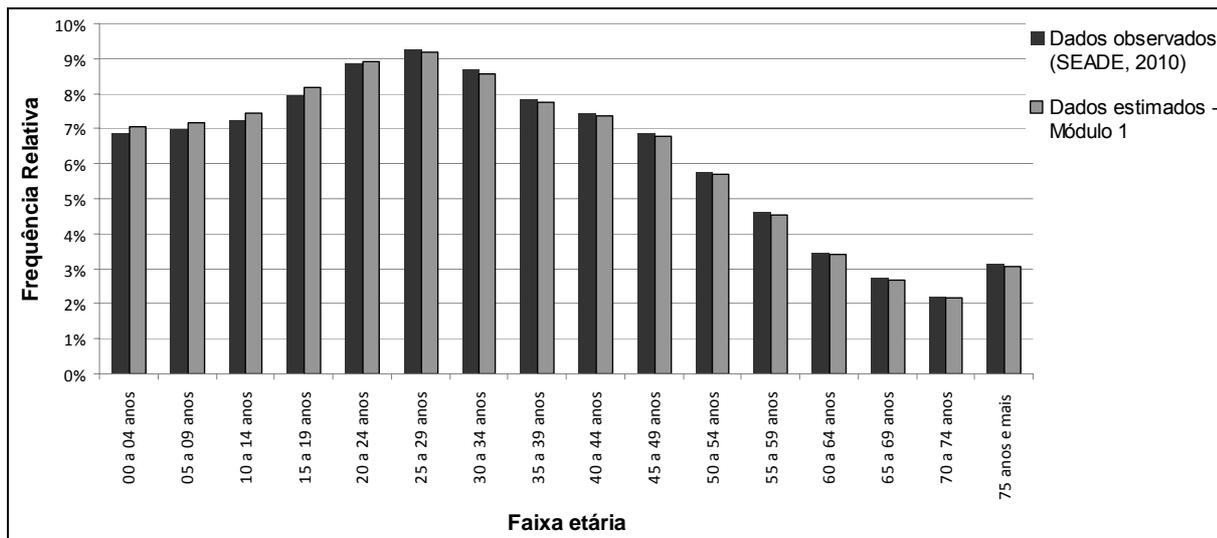


Figura 5.2 – Distribuição da população segundo a faixa etária,

Os dados da amostra ED foram usados para definir as regras de distribuição dos moradores por domicílio segundo a situação domiciliar. Desta forma, foram definidos os critérios para configurar o número de chefes de família, de filhos e dos agregados, bem como a presença do cônjuge, em cada domicílio. De acordo com esses critérios, foi estabelecida a composição da estrutura domiciliar por meio da variável *n-people*, que define quantidade de moradores no domicílio, e das variáveis *head*, *chd*, *part* e *oth*, que definem as situações domiciliares a serem ocupadas pelos moradores. Os critérios e os respectivos parâmetros adotados para a cidade de São Carlos (SP), e que permitiram estabelecer no Módulo 1 a estrutura domiciliar, estão listados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Critérios e parâmetros para a definição da estrutura domiciliar – aplicação à cidade de São Carlos (SP)

Variável	Significado	Aplicação na cidade de São Carlos (SP)
<i>head</i>	Quantidade de chefes de família no domicílio	Valor inteiro entre 1 e 2 Estimado a partir dos dados da amostra ED a partir de uma distribuição normal com parâmetros de média = 1,01 e desvio padrão = 0,28 O resultado é arredondado para o inteiro mais próximo
<i>chd</i>	Quantidade de filhos no domicílio	Valor inteiro entre 0 e 4 Estimado a partir dos dados da amostra ED por meio da aplicação de uma regressão linear com (x) = tamanho família e (y) = número de filhos, Função $y = 0,60x - 0,74$, $pvalue < 0,001$, $R^2=0,973$ (Ver Apêndice B) O resultado é arredondado para o inteiro mais próximo
<i>part</i>	Presença do cônjuge no domicílio	Valor inteiro entre 0 e 1, SE $(n\text{-people} - (head + chd) > 0)$ ($part = 1$) ($part = 0$)
<i>oth</i>	Quantidade de agregados no domicílio	Valor inteiro entre 0 e 2 $oth = (n\text{-people} - (head + chd + part))$

Por fim, para definir os agentes da população (*Ag_people*) que ocupam as vagas na estrutura domiciliar são estabelecidos critérios baseados na idade do morador. Os critérios e os respectivos parâmetros estão listados na Tabela 5.4 e divididos de acordo com a situação domiciliar.

Tabela 5.4 – Critérios e parâmetros para distribuição da população na estrutura domiciliar – aplicação à cidade de São Carlos (SP)

Posição	Critérios
<i>Chefe de Família (head)</i>	Selecionar <i>Ag_people</i> com idade > 19 anos
<i>Cônjuge (part)</i>	Selecionar <i>Ag_people</i> com Idade = idade chefe de família +/- 10 anos E Idade > 19 anos
<i>Filhos (chd)</i>	Definir idade de referência <i>limit-age</i> SE houver cônjuge (Menor valor entre o chefe de família e cônjuge) (SENÃO: idade chefe de família)
	SE $19 < limit\text{-age} < 45$ (Selecionar <i>Ag_people</i> com idade = $limit\text{-age} - 20$)
	SE $44 < limit\text{-age} < 61$ (Selecionar <i>Ag_people</i> com idade = $limit\text{-age} - 20$ E idade > 5)
	SE $limit\text{-age} > 61$ (Selecionar <i>Ag_people</i> com idade = $limit\text{-age} - 20$ E idade > 15)
	A idade dos filhos de um mesmo domicílio deve ser diferente entre si

No que se refere aos critérios para os filhos, são escolhidos os agentes *Ag_people* com uma diferença de idade em relação à idade de referência (*limit-age*) de, pelo menos 20 anos, pressupondo que esta seria a idade mínima da mãe no momento da concepção. Este valor segue o que está definido nos prognósticos de fecundidade no Estado de São Paulo (YAZAKI, 2008) que estabelecem a idade de fecundidade da mãe um valor médio de 27,0 anos, com desvio-padrão de 6,7 anos, para o ano de 2006.

Neste contexto, justifica-se referir que os critérios necessários para a criação de uma população sintética dependem das características sociodemográficas da área na qual está sendo aplicado o Modelo GDA. Os parâmetros discutidos nesta seção devem ser entendidos como aqueles que foram adotados na aplicação do modelo à realidade observada na cidade de São Carlos (SP), devendo ser alterados se, em pesquisas futuras, o modelo for aplicado em outras áreas urbanas. As informações sociodemográficas solicitadas por este módulo também são acessíveis em outras bases de dados além de pesquisa OD, como, por exemplo, os levantamentos censitários do IBGE e as estimativas elaboradas pelo SEADE.

Para complementar as informações da aplicação deste Módulo, a Figura 5.3 contém uma visualização da interface do programa feito para a aplicação do Módulo 1 na cidade de São Carlos (SP) e o Apêndice M contém o arquivo deste programa.

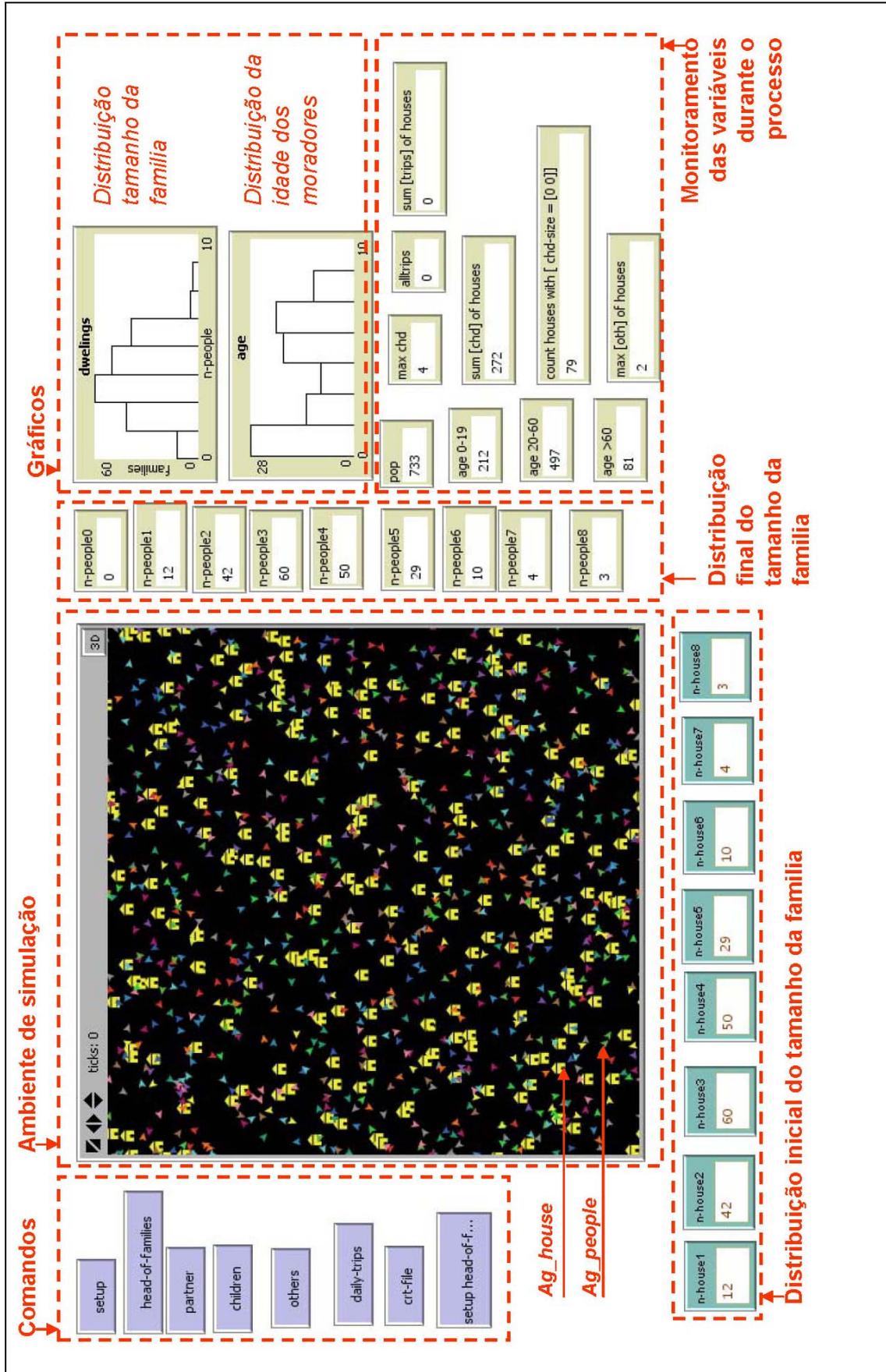


Figura 5.3 – Interface do Módulo 1 aplicação à cidade de São Carlos (SP)

5.1.2 Aplicação do Módulo 2

Como o objetivo do Módulo 2 é estimar as atividades que motivarão os deslocamentos dos moradores, foi necessário, em primeiro lugar, definir quais seriam as atividades analisadas na área de estudo. O levantamento feito pela pesquisa OD determina oito motivos de viagens que foram associados às atividades diárias. Como o modelo estima apenas viagens residenciais, a viagem inicia e termina na residência. Dentre essas oito atividades, apenas as quatro primeiras, relacionadas às atividades *trabalhar* e *estudar*, serão consideradas no processo de distribuição de viagens (Módulo 4). A listagem dos planos de atividades diárias, bem como o código usado no modelo, está na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Lista de planos de atividades diárias – aplicação à cidade de São Carlos (SP)

Código da atividade	Significado
818	residência / trabalho-indústria / residência
828	residência / trabalho-comércio / residência
838	residência / trabalho-serviço / residência
848	residência / estudo / residência
858	residência / compras / residência
868	residência / saúde - tratamento / residência
878	residência / lazer / residência
898	residência / outros / residência

As probabilidades de escolha da atividade pela idade do morador foram definidas em três parâmetros: $prob_w$ = probabilidade de escolha da atividade *trabalhar*, caracterizada pelos planos 818, 828 e 838, $prob_s$ = probabilidade de escolha da atividade *estudar*, caracterizada pelo plano 848, $prob-o$ = probabilidade de escolha da atividade *outras atividades*, caracterizada pelos planos 858, 868, 878 e 898. As probabilidades de acordo com faixa etária estão ilustradas na Figura 5.4 e listadas no Apêndice C.

Também é considerada uma probabilidade de escolha do plano de atividades associada à situação domiciliar do morador. Estas probabilidades tiveram como base os dados dos motivos de viagem da pesquisa ED. Os valores destas probabilidades estão ilustrados na Figura 5.5 e listados no Apêndice D.

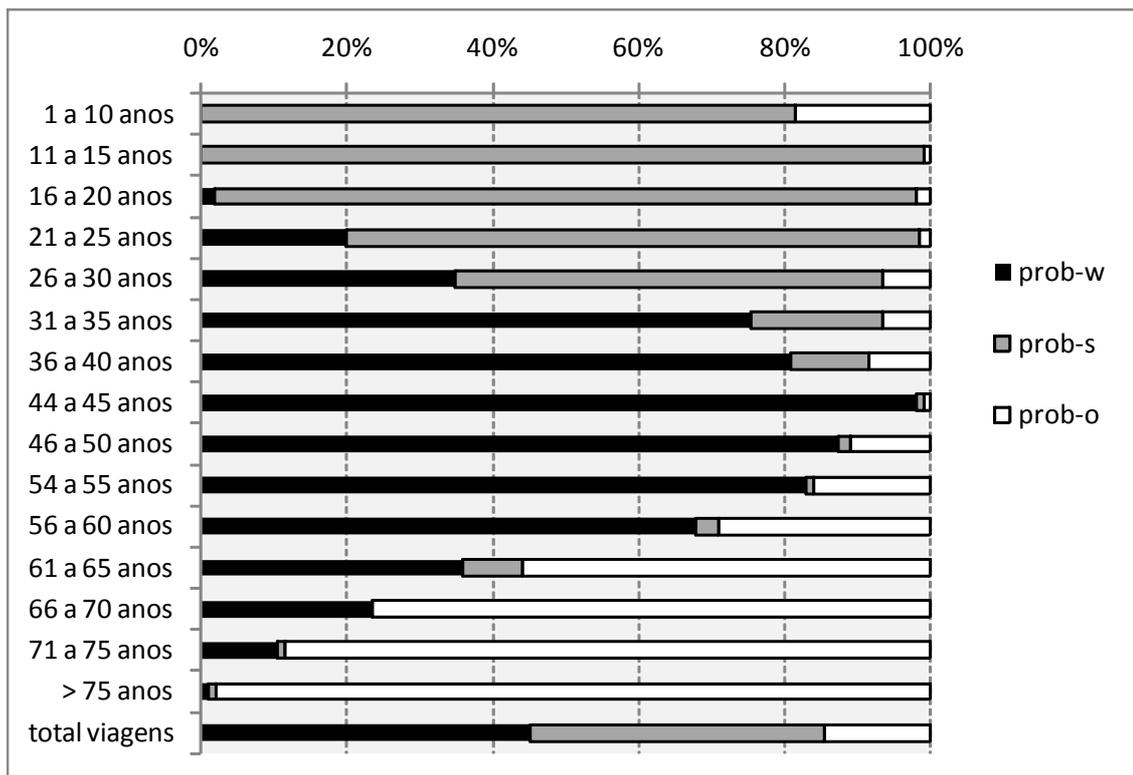


Figura 5.4 – Probabilidade de escolha das atividades conforme faixa etária do morador (observações da pesquisa ED) - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

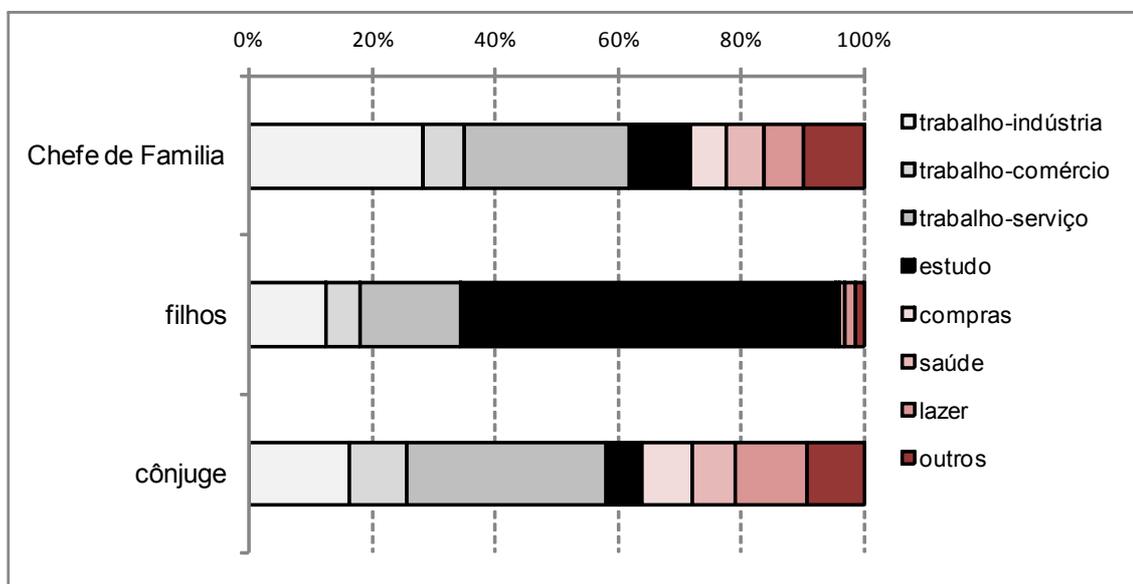


Figura 5.5 – Probabilidade de escolha de atividades quanto à situação domiciliar (observações da pesquisa ED) - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

Conforme já mencionado anteriormente (ver seção 3.5 - Módulo 2 – Definição das atividades), a integração das duas probabilidades, quanto à idade e à situação domiciliar, configurou a probabilidade *p-plan*, a qual determina a chance de escolha de cada atividade

pelo morador. As funções potência, multiplicação e exponencial, definidas nas Equações (14), (15), e (16), foram testadas e os resultados são comparados aos dados observados, conforme os gráficos na Figura 5.6. A função potência foi selecionada para calcular o valor de *p-plan*, pois foi a que obteve resultados mais próximos do observado na amostra ED. Os valores numéricos dos resultados obtidos na aplicação das três funções e o observado na pesquisa ED estão no Apêndice G.

Os dados referentes à atividade *estudar* foram desagregados conforme o nível de ensino. Logo, a atribuição de cada nível foi condicionada à idade do morador. Os critérios para vincular cada nível com um determinado intervalo de idade estão na Tabela 5.6.

Por fim, a interface da aplicação do Módulo 2 feito no programa NetLogo está contida na Figura 5.7 e o arquivo da aplicação do Módulo 2 está disponível no Apêndice N.

Tabela 5.6 – Critérios para atribuir o nível de ensino à atividade *estudar* - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

Nível de Ensino	Código	Critérios
educação infantil	1848	<i>idade</i> morador ≤ 6
ensino fundamental	2848	$6 < \textit{idade}$ morador ≤ 14
ensino médio	3848	$14 < \textit{idade}$ morador ≤ 18
ensino superior	4348	<i>idade</i> morador > 18

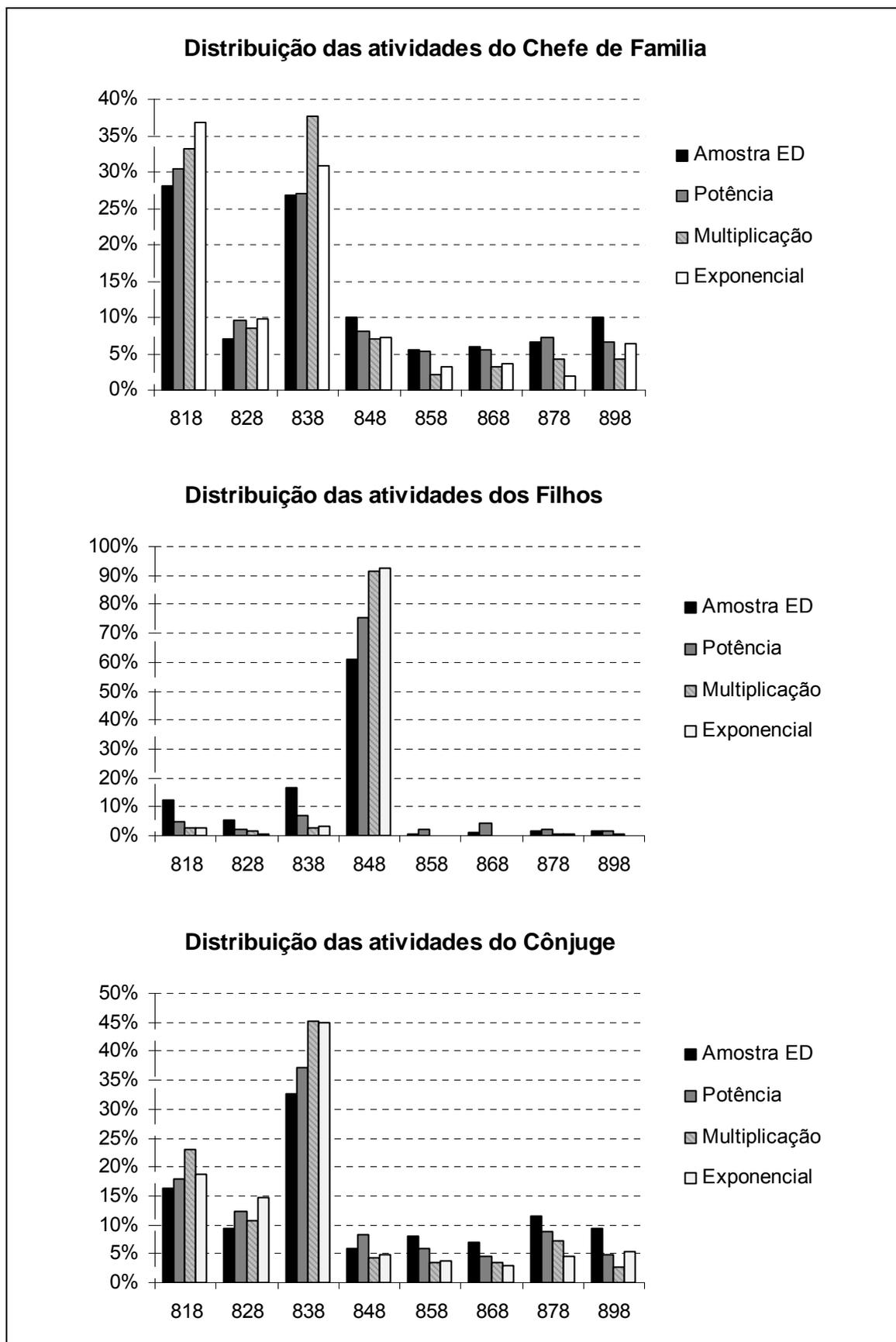


Figura 5.6 – Gráficos comparativos dos resultados obtidos pelas funções p -plan e os observados na amostra ED - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

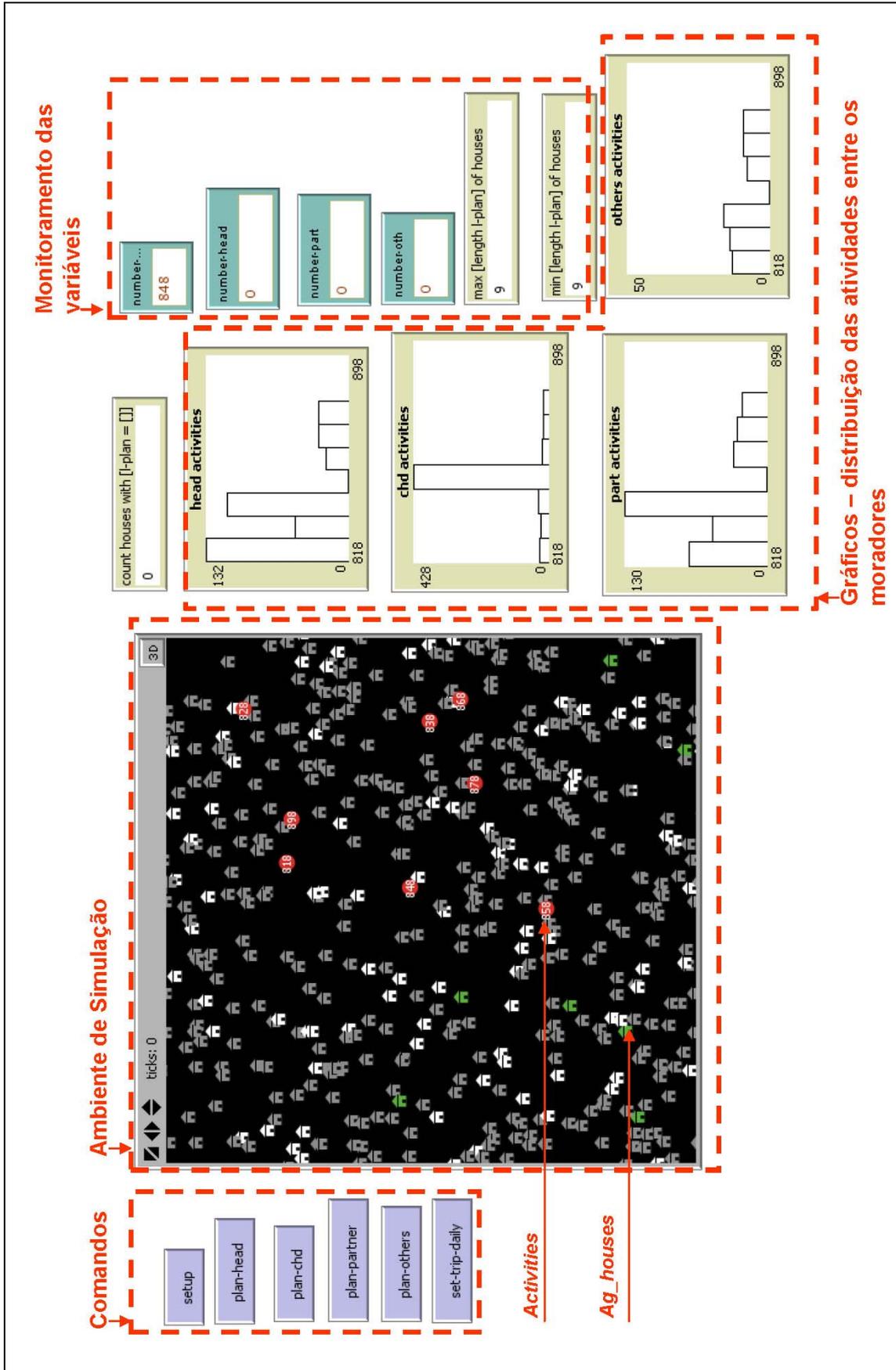


Figura 5.7 – Interface do Módulo 2 - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

5.1.3 Aplicação do Módulo 3

Ao contrário dos demais módulos, a aplicação do Módulo 3 não utilizou a simulação multiagente e seus procedimentos foram feitos com o auxílio de programas de CAD, como o AutoCAD (AUTODESK, 2007), de SIG, como o ArcView (ESRI, 2002) e o Idrisi (CLARK_LABS, 2007) e de planilhas eletrônicas, como o Microsoft Excel (MICROSOFT, 2003).

Para aplicar o Módulo 3 foram necessárias as seguintes bases de dados associadas às UEAs das áreas urbanas em estudo: uso do solo, empregos e vagas na rede de ensino. Foram procurados dados referentes ao ano de 2007, ou mais próximos possível deste ano, pois os dados utilizados nos dois primeiros módulos eram relativos a esse período em que foi realizada a pesquisa OD.

Para estimar o tipo de uso do solo em cada UEA foi feito um novo levantamento com base no mapa de uso do solo fornecido pela Prefeitura Municipal de São Carlos (PMSC) (SÃO CARLOS, 2007c). Neste novo mapeamento foram consideradas as áreas residenciais que não estavam nos setores originais do IBGE no levantamento de 2000, cujo procedimento de inclusão na base já foi detalhado na seção 4.5.3.1 (Método para expansão da matriz PA). Também foram atualizadas as áreas industriais conforme informação das imagens de satélite, como o parque industrial Science Park, o Distrito Industrial Vila Monteiro e as plantas das empresas Volkswagen, Tecumseh (I e II), Tapetes São Carlos e Eletrolux, além de empresas de médio e pequeno porte.

Por meio de recursos disponibilizados pelos SIGs foram contabilizadas as áreas de cada tipo de uso do solo e o correspondente valor foi agregado a cada UEA. A indicação do uso do solo no mapa fornecido pela PMSC, em formato *DWG*, era por meio de hachuras desassociadas do polígono, as quais, uma vez que correspondem a padrões e não a objetos vetoriais, não são interpretadas de forma automática pelos SIGs como entidade gráfica. Logo, para contabilizar a área ocupada por determinado uso do solo, foram necessários os seguintes procedimentos:

- (i) No programa CAD: Transformar as hachuras em preenchimento sólido e salvar cada camada de informação de uso do solo no formato de imagem *TIFF*. Todas as imagens deveriam ter o mesmo tamanho para facilitar a localização dos mesmos pontos de controle de georreferenciamento em todas as imagens.

- (ii) No SIG: Transformar as imagens *TIFF* para formato raster com resolução espacial de 10 metros, cuja área do pixel é de 100m². Georreferenciar os mapas no sistema *UTM-23s*, elipsóide *WGS84*. Determinar a frequência de pixels de cada uso do solo em cada UEA. Tabular os dados em uma planilha eletrônica para o cálculo da área de determinado uso do solo em cada UEA.

Justifica-se referir que os procedimentos acima descritos apenas foram necessários porque a informação sobre o uso do solo estava armazenada como padrões gráficos do tipo hachura e não como um objeto vetorial, como um polígono fechado, por exemplo, que é reconhecido pelo SIG e que delimita uma superfície com um determinado atributo (neste caso, o uso do solo). Os procedimentos, caso não fossem necessários, economizaria diversas horas de trabalho na transformação da informação para ser usada pelo SIG e, além disto, ofereceria uma maior precisão no mapeamento, pois as informações estariam no formato vetor. Logo, destaca-se a importância de planejar adequadamente o armazenamento de informações geográficas, mesmo em uma plataforma *CAD*, prevendo um futuro uso destes dados para outras análises, sobretudo quando se trata de dados provenientes de órgãos gestores, pois certamente estas informações terão outras aplicações nos processos de tomada de decisão.

A escolha da resolução espacial para a confecção dos mapas considerou o objetivo da coleta de dados e ferramentas computacionais para obtenção destas informações. Como o objetivo era a determinação do tipo de uso do solo e esta característica é associada ao tamanho de um lote urbano, que é, em média 300m², sugere-se que a resolução espacial seja, no máximo 17,32 metros, que resulta em uma área de 300m², e no mínimo, de 8,66 metros, que resulta em uma área de 75m², um quarto do valor médio do lote. Em uma resolução espacial dentro deste intervalo podem ser identificadas as áreas limítrofes do lote para detectar melhor as variações do uso do solo. Quanto às ferramentas computacionais, as operações pixel a pixel, base dos procedimentos das imagens raster, necessitam maior tempo de processamento quanto maior for a quantidade de pixels de uma imagem, ou seja, quanto maior for a resolução espacial. Logo, procurando compatibilizar uma resolução espacial apropriada para o estudo juntamente com as limitações computacionais, foi adotada a resolução espacial de 10 metros. No caso desta aplicação, as operações foram feitas no SIG Idrisi em quatro imagens com 1095 colunas por 1544 linhas.

Conforme já visto no Capítulo 4, no mapeamento fornecido pela prefeitura municipal de São Carlos (SP) foram determinados quatro tipos de uso do solo: industrial, comercial-serviço, residencial e campi universitários. A área de cada tipo de uso do solo foi vinculada

à UEA pertencente. Os tipos de uso do solo mapeados na cidade de São Carlos (SP) estão ilustrados na Figura 4.5.

A estimativa de empregos teve como base inicial os dados disponibilizados pelo SEADE (2010), que informa o total de empregos em cada ramo de atividade. Foram contabilizados três setores, conforme especificado no Módulo 2: indústria, comércio e serviço. O número de empregos em cada ramo de atividade está na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Número de empregos por ramo de atividade – São Carlos (SP) – ano 2007

<i>Ramo de atividade</i>	<i>Número de Empregos</i>	<i>Porcentagem em relação ao total</i>
Indústria	21 532	36%
Comércio	11 749	19%
Serviços	27 106	45%
<i>Total</i>	<i>60387</i>	

O total de empregos em cada ramo de atividade foi distribuído proporcionalmente pela área do uso do solo associada à atividade em cada UEA. Logo, tomando como exemplo empregos na indústria, as UEAs com maior área industrial detêm uma maior porcentagem de vagas nesta atividade. No caso de vagas de empregos em serviços, foram levantados os empregos dos campi UFSCar e USP e foram associados às UEAs que abrangem estes campi. O restante dos empregos em serviços foi distribuído nas áreas de uso do solo comércio-serviço.

Esta distribuição dos empregos configurou as variáveis $\langle atividade \rangle_{prob}$ para a atividade *trabalhar*, cujo valor expressa uma porcentagem de chance de ser realizada a atividade em uma determinada UEA em relação às demais, conforme explicação na seção 3.6 (Módulo 3 – Atração de viagens). Foram especificadas quatro variáveis, cada uma para um dos setores de atividade e para o uso residencial: *industria_prob*, relativa à probabilidade de empregos no ramo industrial; *comercio_prob*, relativa à probabilidade de empregos no ramo comercial; *servico_prob*, relativa à probabilidade de empregos no ramo serviço; e *residencial_prob*, relativa à ocupação das áreas residenciais. Esta última variável, *residencial_prob*, apesar de não entrar no processo de escolha do destino, foi usada na determinação de *servico_prob* em alguns setores que possuíam ocupação residencial, mas não tinham registros de motivo de viagem trabalho-serviço. Logo, foi adotada uma fração de 10% das áreas residenciais como base de cálculo da variável *servico_prob*, partindo da

hipótese de que as áreas residenciais atraem atividades *trabalhar-serviço* com atendimento domiciliar, como exemplo, diarista e tratamentos de saúde.

A estimativa para a atividade *estudar* teve como base os dados referentes às matrículas escolares por nível de ensino, além das taxas de evasão e do valor médio da frequência escolar. O número de matrículas por nível de ensino está na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Número de matrículas por nível de ensino – São Carlos (SP) – ano 2007

<i>Nível de ensino</i>	<i>Número de matrículas</i>	<i>Porcentagem em relação ao total</i>
Educação infantil	8 722	12%
Ensino fundamental	29 747	39%
Ensino médio	9 379	12%
Ensino superior e técnico	27 958	37%
<i>Total</i>	<i>75 806</i>	

Assumindo que cada matrícula escolar indica uma viagem com motivo estudo, foi feita uma distribuição das matrículas entre as UEAs, visando obter uma estimativa de viagens com o motivo estudo. Primeiramente, para classificar as instituições de ensino, foram considerados quatro níveis de ensino: Educação Infantil (EI); Ensino Fundamental (EF); Ensino Médio (EM) e Ensino Superior e Técnico (ES). A porcentagem de vagas para cada nível de ensino associada a cada instituição é agregada às UEAS na qual estão alocadas, revertendo a um valor de atração para viagens com o motivo estudo para determinado nível de ensino, o qual configura a variável *<atividade>_prob*. Foram estipuladas quatro variáveis: *EI_prob*, relativa à probabilidade de vagas para a educação infantil; *EF_prob*, relativa à probabilidade de vagas para o ensino fundamental; *EM_prob*, relativa à probabilidade de vagas para o ensino médio; *ES_prob*, relativa à probabilidade de vagas para o ensino superior.

No caso das vagas nos EI, EF e EM, os dados obtidos pelo SEADE (2010) foram divididos pelo número de escolas de determinado tipo de ensino. Se a escola tinha mais de um tipo de ensino (ex, EF e EM), era atribuída a soma das vagas para cada tipo dessa instituição. O objetivo foi determinar a atratividade de cada escola conforme o número de vagas estimadas para cada nível de ensino. No caso do ES, foram usadas as contagens dos alunos nos campi UFSCar e USP, além de uma estimativa para demais universidades (UNICEP, FADISC), conforme o número de cursos de graduação e vagas disponíveis.

5.1.3.1 Definição das variáveis de atratividade

As estimativas de viagens atraídas às UEAs associadas às características históricas da área de estudo foram a base para estimar as variáveis de atratividade que, conforme já abordado na seção 3.6 (Módulo 3 – Atração de viagens), são cinco: *atracao*, *<atividade>_prob*, *total_prob*, *cont_indiv* e *peso_CDB*.

A variável *atracao* representa o total de viagens atraídas para cada UEA, em função das estimativas de viagens para trabalho e estudo. Assim, justifica-se destacar que, nesta aplicação em São Carlos (SP), os modelos GDA e gravitacional consideram valores da variável *atracao* referentes à estimativa de atração de viagens para estas duas atividades. A estimativa de viagens atraídas para as atividades *trabalhar* e *estudar*, traduzida na variável *atracao*, é visualizada no mapa temático presente na Figura 5.8. A distribuição dos valores da variável *atracao* em unidades de desvio-padrão pode ser visualizada na Figura 5.9. Os valores desta variável para as UEAs estão listados no Apêndice O.

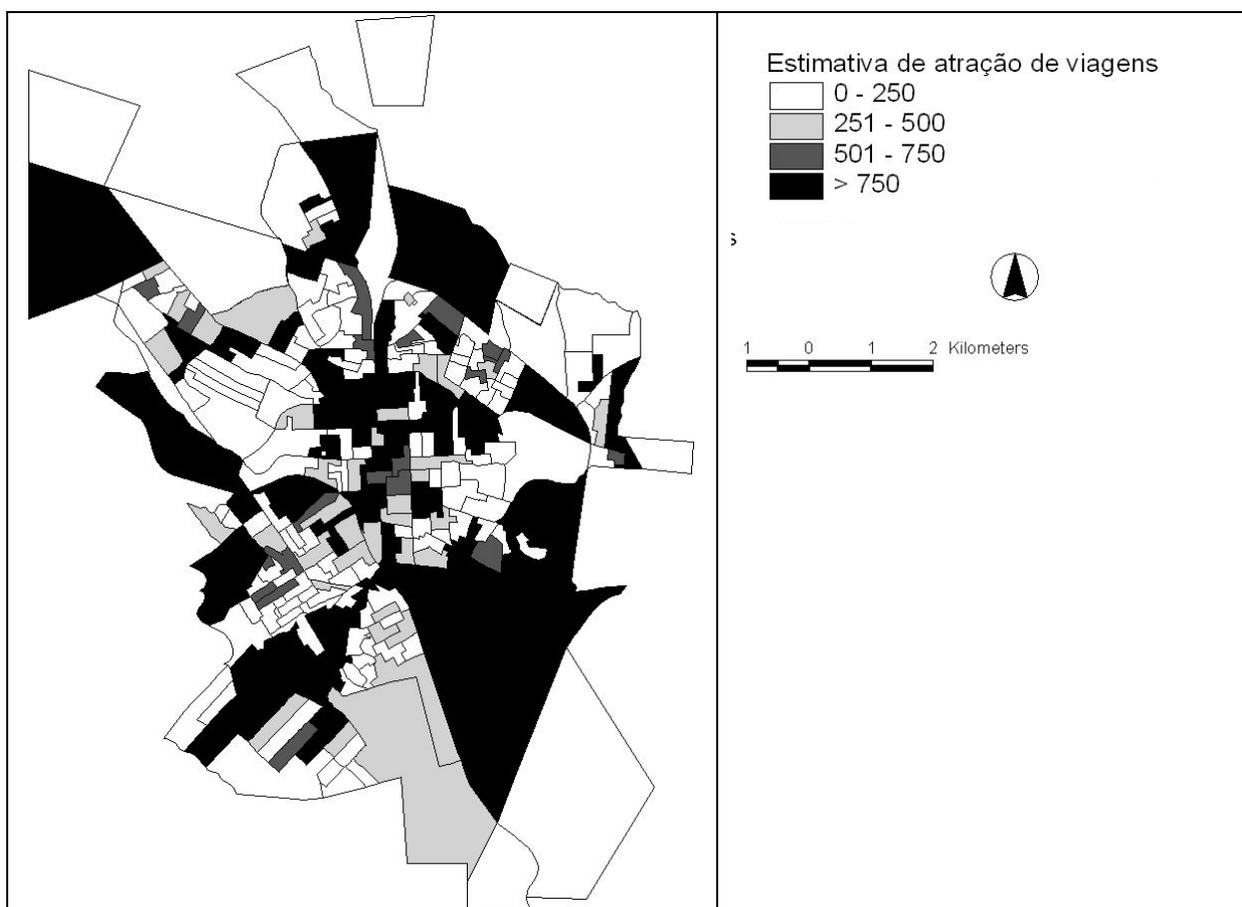


Figura 5.8 – Estimativa de viagens diárias atraídas para as atividades *trabalhar* e *estudar* - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

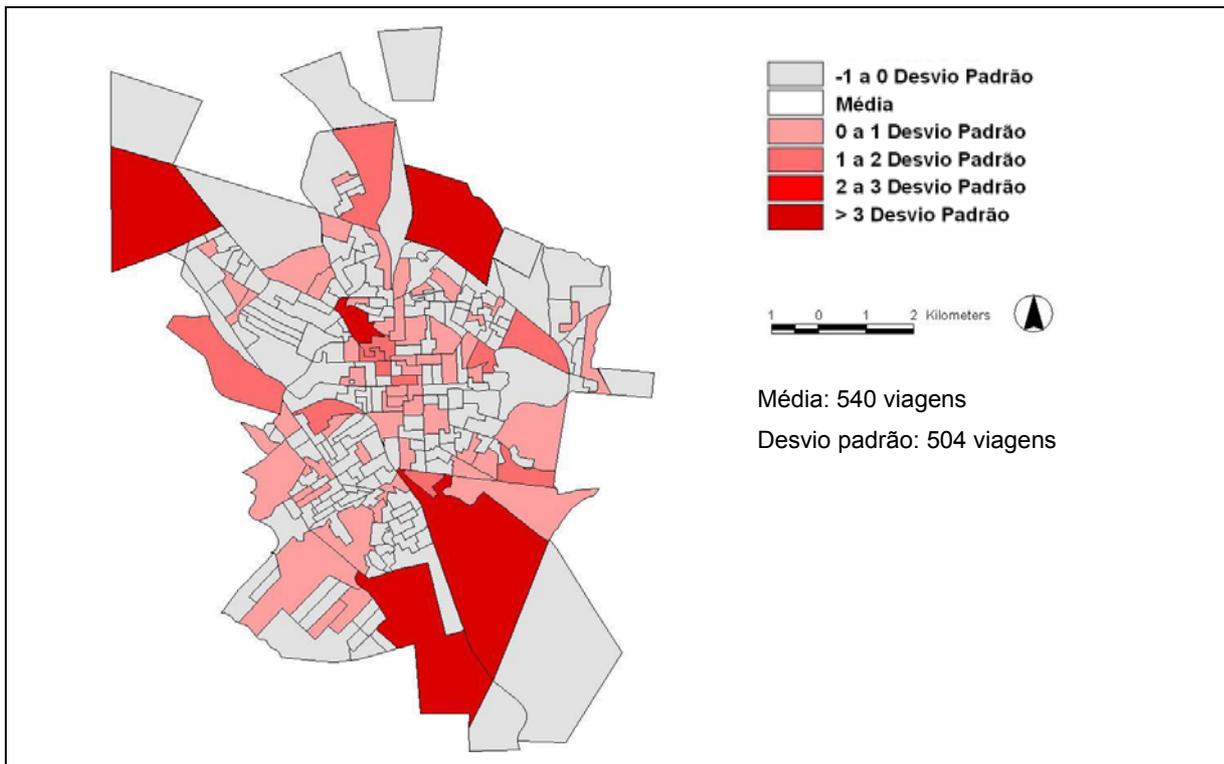


Figura 5.9 – Distribuição do desvio-padrão em relação à média dos valores da variável *atracao* - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

Para a esta aplicação, as variáveis *<atividade>_prob* totalizaram sete valores distintos, três na atividade *trabalhar* (*industria_prob*, *comercio_prob* e *servico_prob*) e quatro na atividade *estudar* (*EI_prob*, *EF_prob*, *EM_prob* e *ES_prob*). A distribuição do desvio padrão da variável *<atividade>_prob* nos UEAs está na Figura 5.10, para atividade *trabalhar*, e na Figura 5.11, para atividade *estudar*. As classes dos mapas que mostram a distribuição de *<atividade>_prob* estão divididas com base no desvio padrão, possibilitando comparar a distribuição desta variável nos diferentes tipos de atividade.

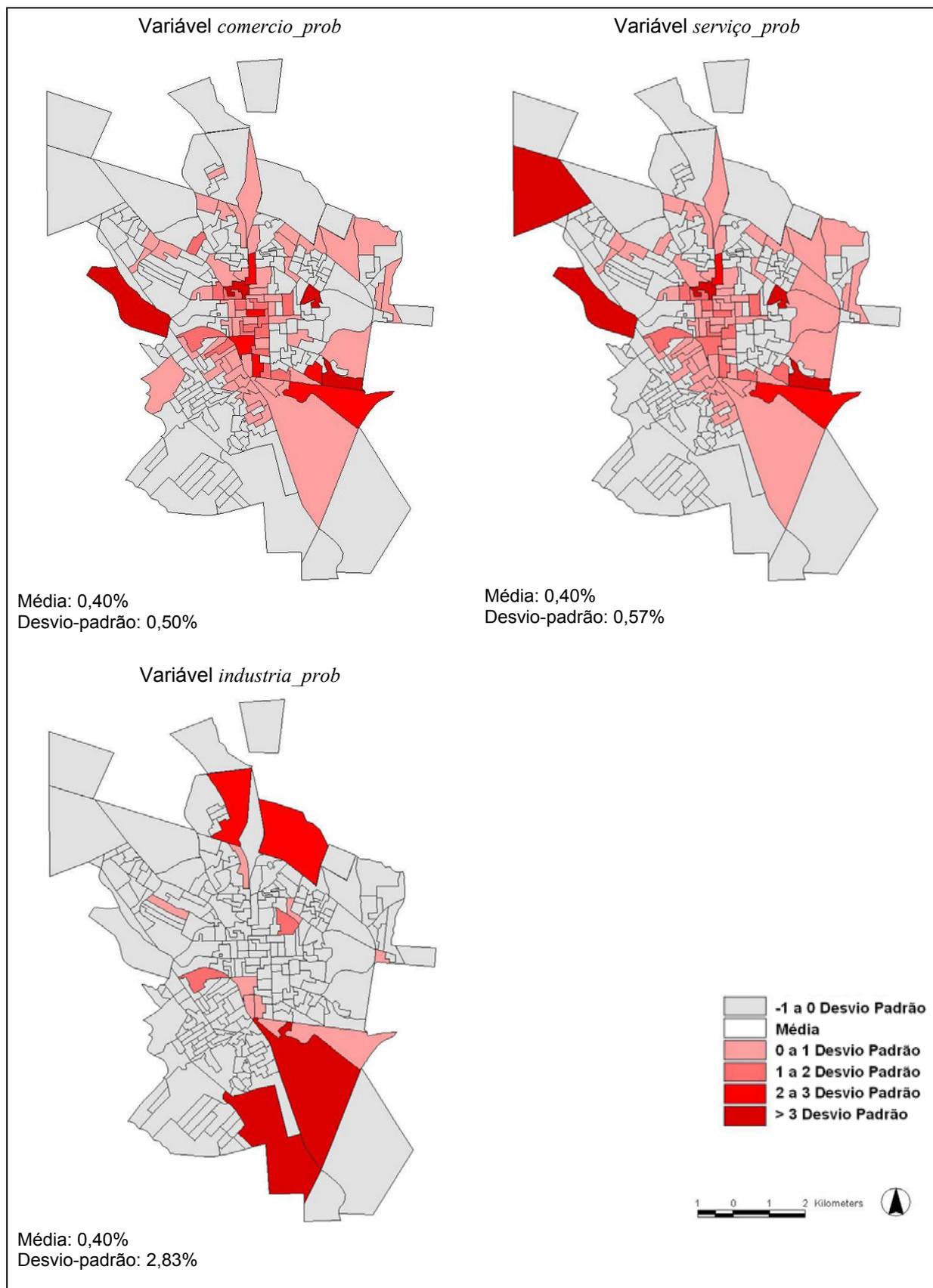


Figura 5.10 – Distribuição do desvio-padrão em relação à média dos valores da variável <atividade>_prob nas UEAs – atividade *trabalhar* - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

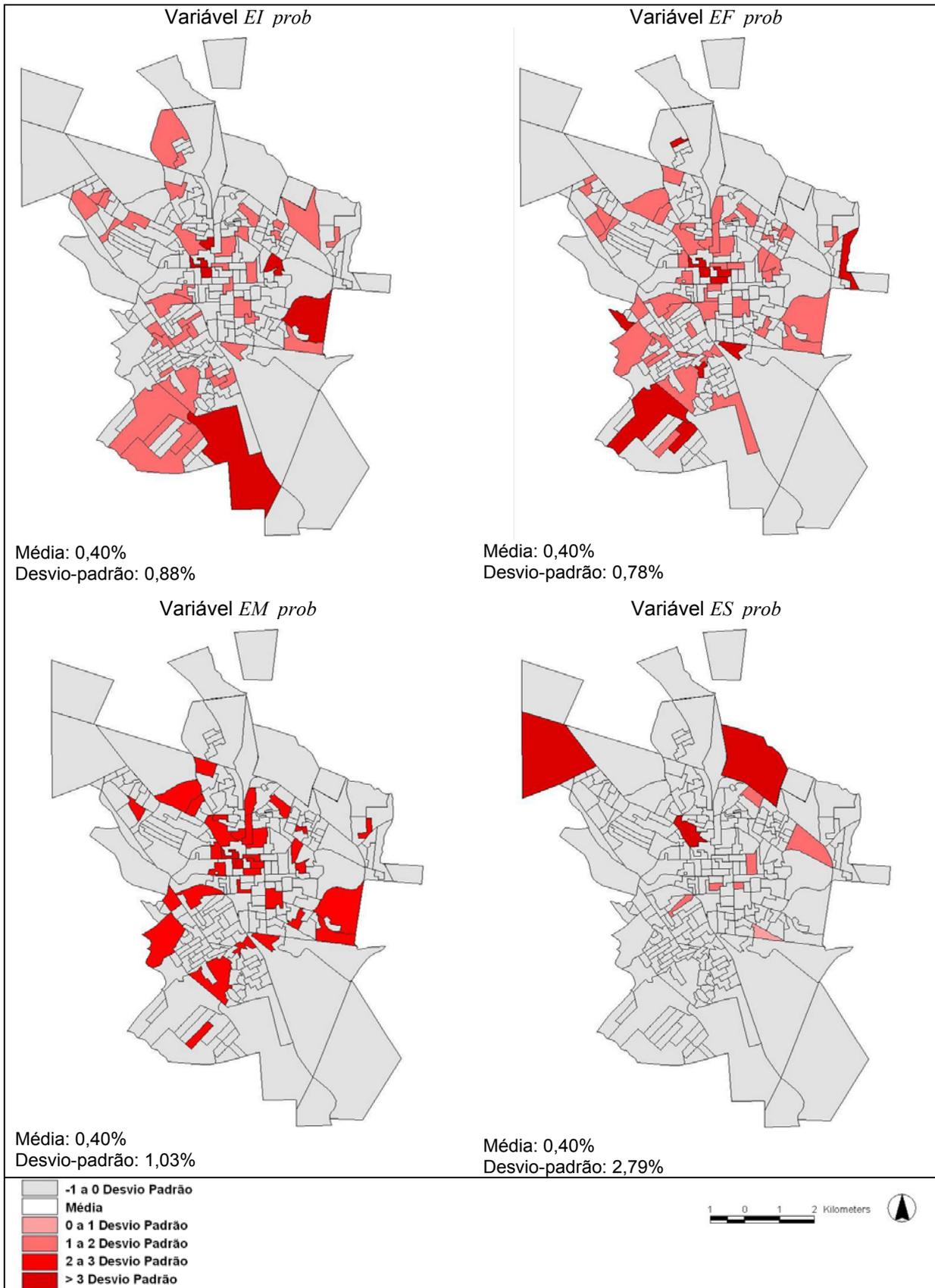


Figura 5.11 – Distribuição do desvio-padrão em relação à média dos valores da variável <atividade>_prob nas UEAs – atividade estudar - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

Como já abordado anteriormente, a variável *total_prob* é composta por uma média ponderada entre as variáveis <*atividade_prob*> e *atracacao*, conforme a Equação (18). A distribuição espacial da variável *total_prob* no caso da cidade de São Carlos (SP) está ilustrada na Figura 5.12. Já variável *cont_indiv* foi calculada por uma razão entre as variáveis *total_prob* e *atracacao*, conforme referido na Equação (19). A distribuição da variável *cont_indiv* nas UEA da aplicação do modelo em São Carlos (SP) está representada na Figura 5.13.

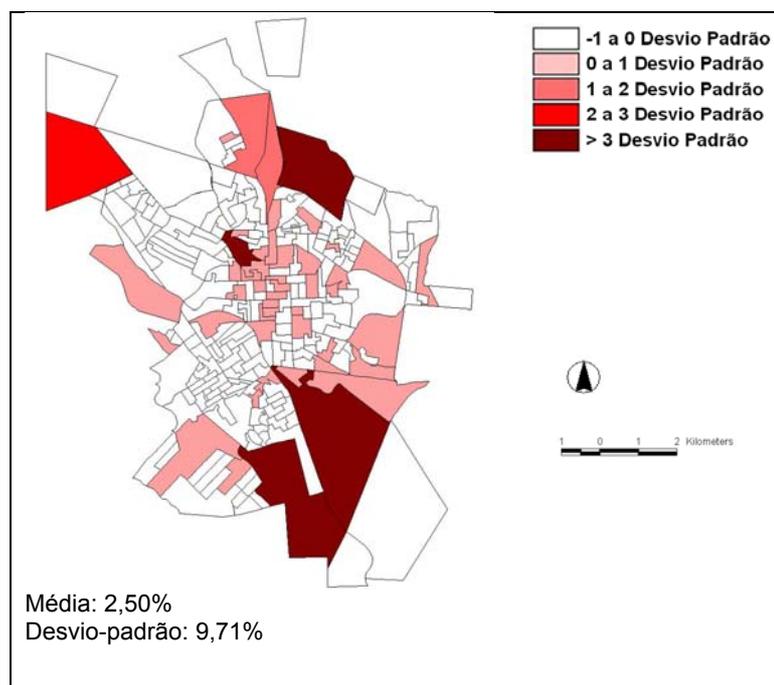


Figura 5.12 – Distribuição do desvio-padrão em relação à média dos valores *total_prob* - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

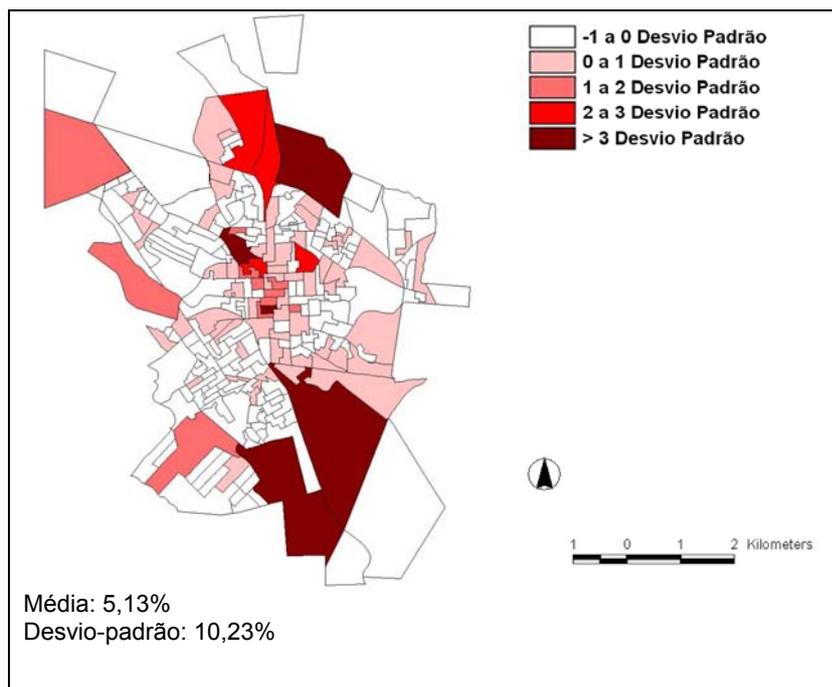


Figura 5.13 – Distribuição do desvio-padrão em relação à média dos valores da variável *cont_indiv* - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

A variável *peso_CDB* está vinculada à evolução histórica da ocupação urbana. Por meio de mapas temáticos com os dados de identificação dos setores censitários (IDs) e das datas de implantação dos loteamentos (SÃO CARLOS, 2007a), foi possível perceber que a ordem dos identificadores está associada com a cronologia dos loteamentos. Desta forma, as UEAs foram ordenadas conforme a ordem do identificador dos setores censitários, formando um ranking das UEAs de acordo com a cronologia e com a proximidade da área central. Assim, a variável *peso-CDB* foi normalizada por meio de uma distribuição uniforme de valores de zero a cem, na qual os valores próximos do zero indicam setores mais novos e mais distantes da área central e os valores próximos de cem indicam setores mais antigos e mais próximos da área central. As UEAs inseridas na base dos setores censitários (IBGE, 2000b) (ver Figura 4.11) também foram considerados nesta ordem, sendo interpretados como setores mais novos. Os mapas temáticos com as informações cronológicas dos loteamentos e da distribuição da variável *peso_CDB* são apresentados na Figura 5.14.

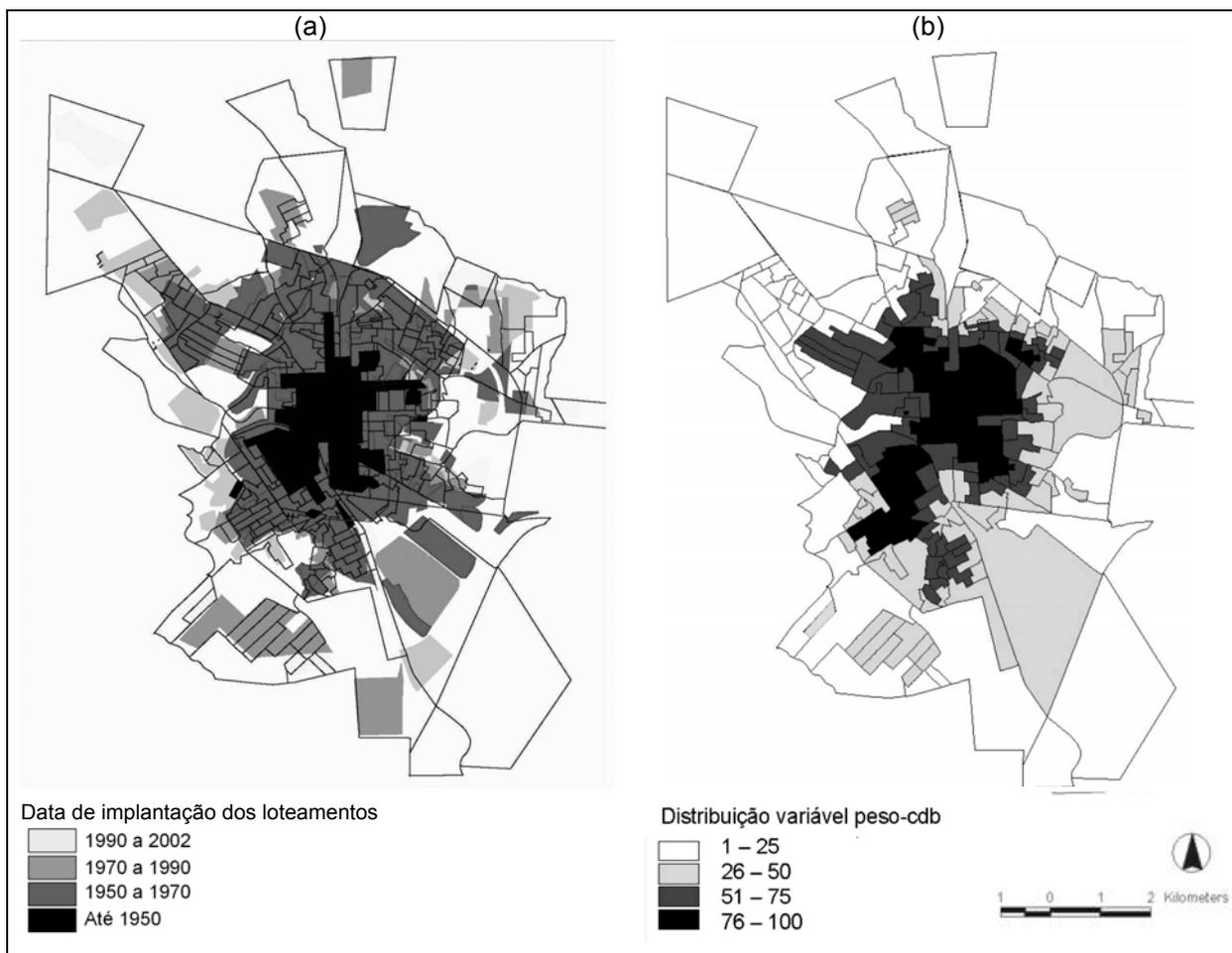


Figura 5.14 – Mapas temáticos com a (a) cronologia dos loteamentos e com a (b) distribuição da variável peso_CDB - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

5.1.4 Aplicação do Módulo 4

Para configurar o ambiente de simulação do Módulo 4 foram usados arquivos geográficos que caracterizavam as unidades de análise: SC.asc (arquivo em formato raster usado para delimitar a área ocupada pela unidade de análise, cujo atributo do pixel é o identificador ID do setor censitário); Centróides.SHP (arquivo de pontos em formato vetor associado a um banco de dados com informações das variáveis de atratividade); e Setores.SHP (arquivo de linhas em formato vetor, usado para delimitar visualmente os setores, não interferindo no processo de simulação).

Para importar e integrar as bases geográficas no programa NetLogo, de modo a manter o georreferenciamento, foi necessário adotar a extensão GIS. Para compatibilizar os arquivos geográficos com o ambiente de simulação do NetLogo, foi necessário configurar este ambiente com o mesmo número de linhas e de colunas dos arquivos geográficos em formato raster.

Na aplicação do Módulo 4, como referido anteriormente, foram considerados apenas os dados referentes às atividades *trabalhar* e *estudar*, sendo as *outras atividades* descartadas da simulação. A justificativa é a facilidade na determinação das viagens para realizar atividades *trabalhar* e *estudar* devido à sua relação estreita com os tipos de uso do solo.

Nas configurações do Modelo GDA que consideram a distância do deslocamento na escolha do destino, os modelos GDA-D (ver Tabela 3.2), foi inserido no Módulo 4 uma matriz de distâncias entre os centróides das UEAs. Também foi considerada nesta matriz uma estimativa da distância dentro da UEA, visando calcular as viagens internas (intrazonais). Para isto, por meio da ferramenta *Centróide Connectors* do TransCAD, foi feito um cálculo das distâncias dentro do setor a partir de conectores que ligam o centróide da UEA até o ponto médio da mais próxima aresta do polígono que delimita a UEA. Esta distância foi inserida nas células da diagonal da matriz de distâncias. Os conectores podem ser visualizados na Figura 5.15.

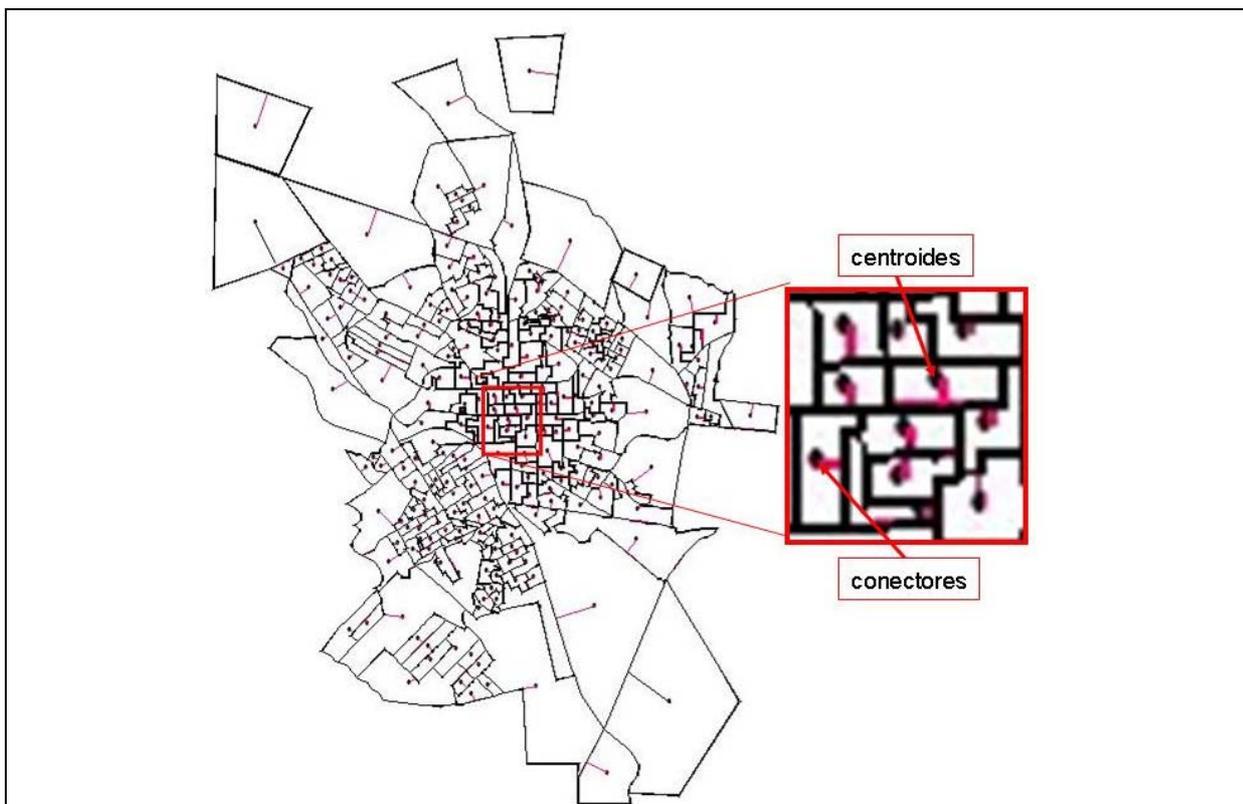


Figura 5.15 – Conectores dos centróides – aplicação em São Carlos (SP)

Além das distâncias intrazonais, os modelos GDA-D têm mais dois dados que são considerados no cálculo da distância: a menor distância, em linha reta, entre o domicílio

(origem do deslocamento) e o centróide (destino do deslocamento); e uma matriz de distância calculada com base na rede das vias que comportam o transporte público da cidade (ROCHA, 2010), formada basicamente por vias arteriais e coletoras. Neste caso, o cálculo considera o menor caminho entre os nós da rede mais próximos dos centróides de origem e de destino, conforme ilustrado na Figura 5.16. A justificativa para usar a rede de transporte público é obter uma distância (entre centróides) mais próxima da realidade do sistema viário, considerando vias coletoras e arteriais para configurar esta rede. Além disto, a configuração desta rede abrange toda a área urbana de São Carlos (SP), contemplando-a de forma homogênea. Esta matriz de distância com base na rede de transporte público está no Apêndice Q em uma planilha eletrônica (formato MS-Excel).

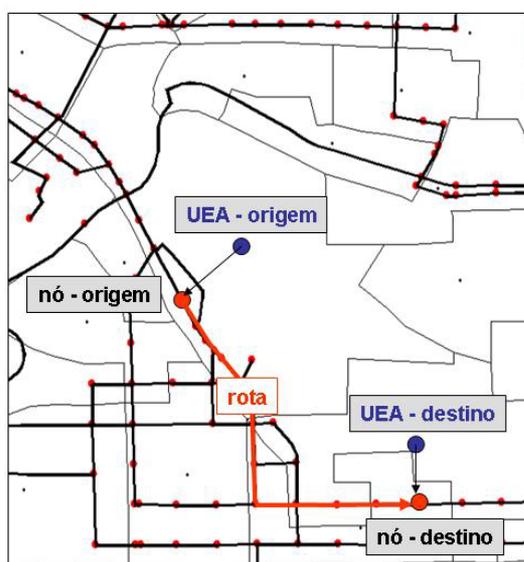


Figura 5.16 – Seleção dos nós da rede para o cálculo da matriz de distância – distância da rota

Como já explicado na seção 3.7 (Módulo 4 – Distribuição de viagens), os modelos GDA que consideram a variável *total_prob* passam por duas etapas de aplicação do Módulo 4, uma de calibração da variável e outra referente à distribuição de viagens. Na primeira etapa, observa-se que, a cada iteração, a diferença entre os valores iniciais da variável (*total_prob_old*) e finais (*total_prob_new*) diminui, convergindo para valores próximos ao zero no final do processo. Isto caracteriza que a competitividade de atração entre as UEAs se estabiliza, retratando, como resultado final, poucas UEAs com um grande número de viagens atraídas e muitas UEAs com poucas viagens atraídas, traduzido numa função potência. Este processo pode ser visualizado na interface do Módulo 4, ilustrado na Figura 5.17, e no arquivo do Apêndice P, que contém o programa do Módulo 4. As configurações consideradas para a aplicação do Módulo 4 e suas respectivas siglas estão na Tabela 3.2.



Figura 5.17 – Interface do Módulo 4

5.2 Aplicação do modelo gravitacional

A aplicação do modelo gravitacional na cidade de São Carlos (SP) foi realizada com base no programa SIG TransCAD (CALIPER, 2005a), o qual possui ferramentas de distribuição de viagens que adotam este tipo de modelo.

Foram aplicados dois métodos de distribuição de viagens: o modelo gravitacional duplamente restringido, denominado, neste trabalho, de modelo GRAVIT; e o modelo gravitacional simplesmente restringido do método *Urban Transport Planning System*, denominado modelo *UTPS*.

Para o modelo GRAVIT foi usada a ferramenta Gravity Application, presente no menu *Planning - Trip Distribution* (CALIPER, 2005b). Previamente, foi necessário balancear os vetores Produção e Atração, por meio da ferramenta *Trip Balance* (menu *Planning*). Os vetores Produção e Atração correspondem aos valores dos dados da pesquisa OD após o processo de expansão da matriz PA, conforme seção 4.5.3 (Expansão da matriz Produção-Atração). Os dois vetores foram balanceados, sendo o vetor Produção restringido ao vetor Atração.

Para o modelo *UTPS*, foi aplicado o método *UTPS-Style Gravity Model* (menu *Planning*), considerado um modelo restringido em apenas um dos vetores. Ao contrário do modelo GRAVIT, este modelo não exige que os dados de entrada das viagens produzidas e atraídas estejam balanceados, ou seja, o valor inicial de viagens produzidas não necessita ser igual ao das atraídas. A distribuição de viagens neste método apenas aplica a equação gravitacional em um dos vetores, determinando os fatores de ajuste do vetor não restringido.

Ao aplicar o modelo *UTPS* neste trabalho, as viagens atraídas foram as que sofreram a restrição, sendo as viagens produzidas calculadas a partir dos fatores. Os valores de entrada das viagens produzidas e atraídas são os mesmos da aplicação do Modelo GDA e encontram-se no Apêndice O. A restrição no vetor Atração foi necessária para que a aplicação do modelo gravitacional fosse semelhante ao do Modelo GDA já que este restringe as atrações no processo de distribuição de viagens. Neste caso, o processo iterativo do modelo *UTPS* é composto pelas Equações (23), (24) e (25).

Iteração 1 $P_i^0 = P_i$ Valor inicial do vetor Produção (23)

$$T_{ij}^{n+1} = A_j \cdot \frac{P_i^n f(c_{ij})}{\sum_z P_z f(c_{ij})}$$

Equação gravitacional restringida ao vetor Atração (24)

Iteração 2 $P_i^{n+1} = P_i^n \cdot \frac{P}{\sum_i T_{ij}^{n+1}}$ Cálculo da produção a partir do ajuste das viagens atraídas (25)

Como informações de entrada, os modelos GRAVIT e o *UTPS* requerem uma tabela com valores iniciais de atração e de produção de viagem para cada UEA; uma tabela com os fatores de fricção, que, neste caso, teve foram segregados em intervalos de distância de viagem; e uma matriz de impedância que, neste caso, foi considerada a distância com base na rede de transporte público.

A matriz de impedância foi construída com base na distância entre os centróides das UEAs usando a malha viária que comporta o transporte público. Por meio desta matriz é possível construir o gráfico de distribuição das distâncias de viagem ou seja, o gráfico *TLD* (*Trip Length Distribution*), que é usado para avaliar a frequência de viagens em determinado intervalo de distância e a distribuição espacial das viagens, além de servir como dado para calibrar o modelo gravitacional (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 1994). O gráfico TLD relativo aos dados da pesquisa OD da cidade de São Carlos (SP) pode ser visualizado na Figura 5.18. Observa-se uma menor porcentagem de viagens na medida em que aumenta a distância, pois, simultaneamente, aumenta o valor da impedância. A matriz de impedância está disponibilizada na planilha eletrônica (formato MS-Excel) do Apêndice Q.

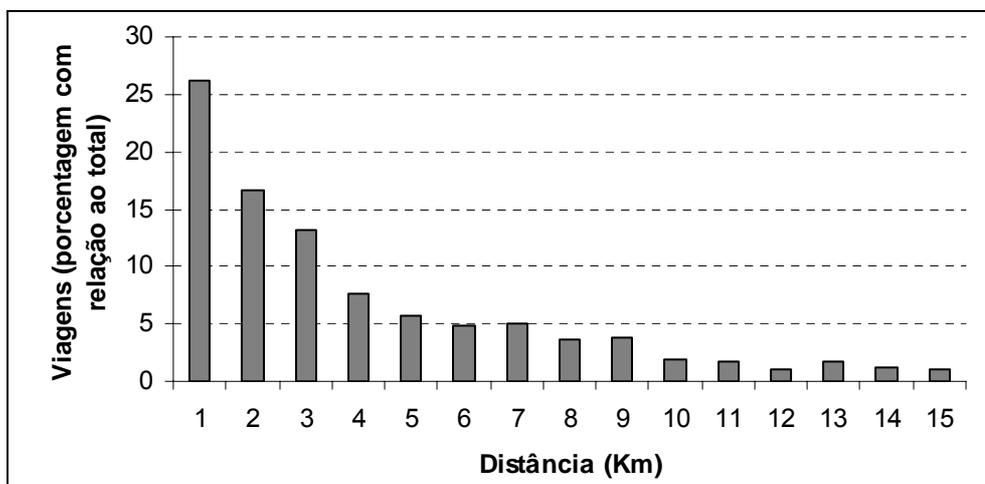


Figura 5.18 – Distribuição das viagens por distância - aplicação à cidade de São Carlos (SP)

O fator de fricção é um parâmetro que influencia favoravelmente às viagens quanto menor for a impedância em uma determinada distância de deslocamento (HUTCHINSON, 1979; ORTÚZAR e WILLUMSEN, 1994). Neste caso, como a impedância é a distância de deslocamento, o valor do fator de fricção é maior nas pequenas distâncias do que nas grandes distâncias. O fator de fricção foi calculado com base nos dados da amostra ED, que, na aplicação na cidade de São Carlos (SP), a função usada para construir o fator de fricção é uma função potência, conforme Equação (26).

$$f(d_{ij}) = d_{ij}^{-b} \quad (26)$$

em que d_{ij} é a distância entre os centróides do par OD e b é uma constante que, de acordo com os dados observados da amostra ED, assume o valor de 1,1405. A curva com a distribuição do fator de fricção por distância está indicada na Figura 5.19.

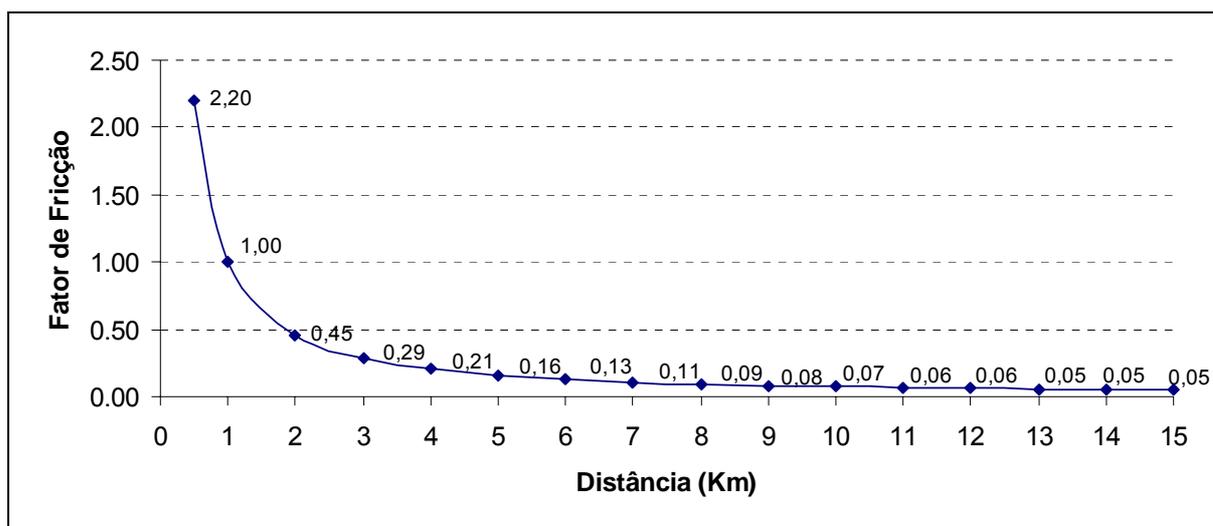


Figura 5.19 – Distribuição do fator de fricção – aplicação à cidade de São Carlos (SP)

O fator de fricção e a matriz de impedância são usados apenas na aplicação do modelo gravitacional, não sendo uma informação de entrada no Modelo GDA. Logo, enquanto o Modelo GDA não requer informações da pesquisa OD quanto à distribuição das viagens, o modelo gravitacional exige parâmetros de calibração, como o fator de fricção e a matriz de impedância, provenientes da amostra ED. Contudo, percebe-se que os dois modelos, *UTPS* e o GDA, usam, como dados de entrada, os mesmos valores de viagens atraídas usados no Modelo GDA. Assim, o que os diferencia são os resultados das viagens produzidas e distribuição das viagens entre as UEAs.

Como resultados dos modelos, foram obtidas curvas de distribuição das distâncias de viagem, denominada *TLD* (*Trip Length Distribution*) e a matriz Origem-Destino dos deslocamentos. Também foi obtida uma curva *TLD* referente apenas aos dados coletados na amostra, denominada, neste trabalho, por *TLD-G-OD*. A configuração e os dados de saída para cada modelo gravitacional aplicado em na cidade de São Carlos (SP) estão na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Configurações dos modelos gravitacionais e suas respectivas siglas

Sigla	Descrição do modelo
G-OD	Modelo gravitacional duplamente restringido que usa os dados da amostra da pesquisa OD, sem o processo de expansão da matriz. Dados de saída: fator de fricção FF-OD e gráfico <i>TLD-G-OD</i>
GRAVIT	Modelo gravitacional duplamente restringido que usa os dados da pesquisa OD após o processo de expansão da matriz e o fator de fricção FF-OD. Dados de saída: gráfico <i>TLD-GRAVIT</i> e matriz M-GRAVIT
<i>UTPS</i>	Modelo gravitacional restringido apenas no vetor atração estimado no Módulo 3 do Modelo GDA e o fator de fricção FF-OD. Dados de saída: gráfico <i>TLD-UTPS</i> e matriz M- <i>UTPS</i>

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, inicialmente, são apresentados os resultados observados, que foram obtidos por meio da pesquisa OD, e os resultados estimados, que foram obtidos por meio dos modelos GDA e gravitacional. Esses resultados são expressos em gráficos de distribuição de distância de viagem (*TLD - Trip Length Distribution*), em matrizes PA (Matriz Produção - Atração) e em matrizes OD (Matriz Origem - Destino). Após, é apresentada a análise comparativa feita entre os resultados observados e estimados; e entre os resultados estimados nos dois modelos, GDA e gravitacional. Os procedimentos usados para fazer a análise dos resultados também estão detalhados neste capítulo.

Em relação à análise e discussão dos resultados, esta foi dividida em duas etapas. Primeiramente são apresentados e analisados os gráficos *TLD*. Os modelos GDA-D e GDA-SD que obtiveram melhores resultados nos gráficos *TLD* são abordados em seguida. A apresentação e a análise das matrizes PA e OD é efetuada na etapa seguinte.

6.1 Aspectos gerais da análise comparativa

A análise comparativa apresenta duas abordagens: comparação entre os resultados observados e os resultados estimados pelos modelos; e comparação dos resultados estimados pelos modelos GDA e gravitacional. Esta última abordagem é a mais explorada neste capítulo, pois um dos objetivos da análise dos resultados é corroborar a hipótese de que o Modelo GDA pode ter uma estimativa tão acurada quanto à dos modelos gravitacionais.

O resultado da comparação entre os resultados estimados pelos modelos foi confrontada com o trabalho de Zhao *et al*, (2004). Neste trabalho, são apresentadas estimativas de demanda de viagens levantadas pelo modelo gravitacional para uma região urbana no Estado da Flórida (EUA) e a comparação com estimativas de demais modelos aplicados nesta mesma região. Apesar de não abordar modelos *ABM*, os resultados desta

publicação serviram de parâmetro para avaliar a grandeza das diferenças entre as estimativas de modelos alternativos com relação ao modelo gravitacional. O tratamento dos resultados considerados em Zhao *et al*, (2004) está no Apêndice I.

A comparação entre os resultados observados e os estimados pelo Modelo GDA foi relacionada ao trabalho de Meister *et al*, (2010), que aplica o modelo *MATSim* na área metropolitana de Zurique (Suíça). É comparado neste trabalho a distribuição das distâncias de viagem (*TLD*) estimada pelo modelo *MATSim*, e a observada a partir da coleta de dados. O objetivo foi avaliar se as diferenças entre o *TLD* do Modelo GDA e dos resultados observados na cidade de São Carlos (SP) são compatíveis às encontradas em Meister *et al*, (2010). O tratamento dos resultados considerados em Meister *et al*, (2010) está no Apêndice J.

A justificativa para escolher os trabalhos de Zhao *et al*, (2004) e Meister *et al*, (2010) como referência baseia-se nos seguintes aspectos (i) o formato da análise comparativa é semelhante ao adotado pela pesquisa, (ii) são esclarecidas as formas de publicação dos resultados, como unidade de medida e nível de agregação, viabilizando o uso destas informações em outras análises. Não foram encontradas outras publicações que apresentassem estas condições.

Para analisar os resultados dos modelos foram considerados:

- Para os gráficos *TLD*:
 - Taxa de Coincidência (TC)
 - Teste Kolmogorov-Smirnov (KS)
- Para as matrizes PA:
 - Teste Qui-quadrado (χ^2)
 - Erro quadrático médio (EQM)
 - Intervalo de Variação (IV)
- Para as matrizes OD:
 - Porcentagem de viagens intrazonais
 - Avaliação dos pares OD
 - Distribuição do número de viagens entre os pares OD

Destaca-se que, na análise dos resultados deste trabalho, o gráfico *TLD* foi considerado apenas como um formato de visualização dos resultados referentes à

distribuição das viagens, e não como um dado de calibração, como ocorreu na aplicação do modelo gravitacional. Os modelos GDA considerados nesta análise e suas respectivas siglas estão identificados anteriormente na Tabela 3.2 e os gravitacionais na Tabela 5.9.

6.2 Resultados dos gráficos *TLD*

6.2.1 Apresentação dos resultados dos gráficos *TLD*

O gráfico *TLD* dos resultados observados na amostra ED está ilustrado na Figura 6.1. O *TLD* dos resultados estimados pelos modelos gravitacionais está contido na Figura 6.2, para o modelo GRAVIT, e na Figura 6.3, para o modelo *UTPS*. Por fim, o *TLD* dos resultados estimados referentes à quatro configurações do modelo GDA-D está mostrado na Figura 6.4 e às do modelo GDA-SD está mostrado na Figura 6.5. Os dados numéricos referentes a estes gráficos estão no Apêndice K.

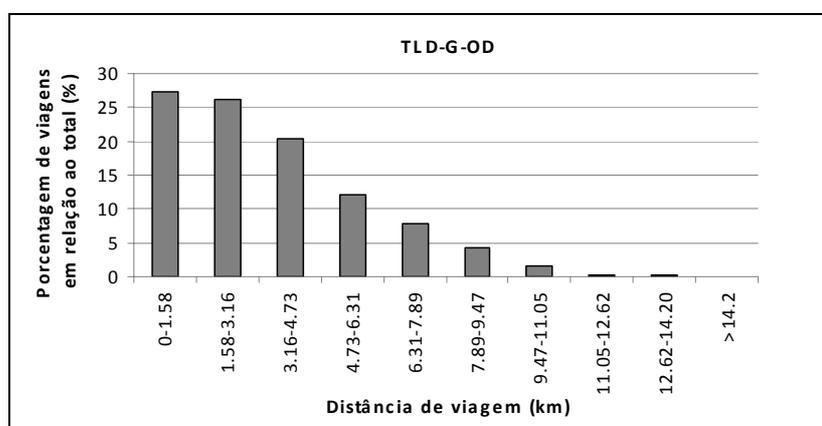


Figura 6.1 – *TLD* dos resultados observados na amostra ED (SÃO CARLOS, 2007d)

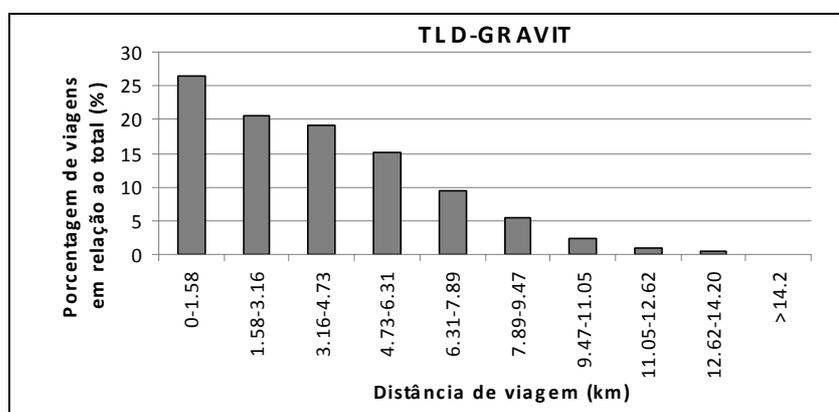


Figura 6.2 – *TLD* dos resultados estimados pelo modelo GRAVIT (*TLD*-GRAVIT) - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

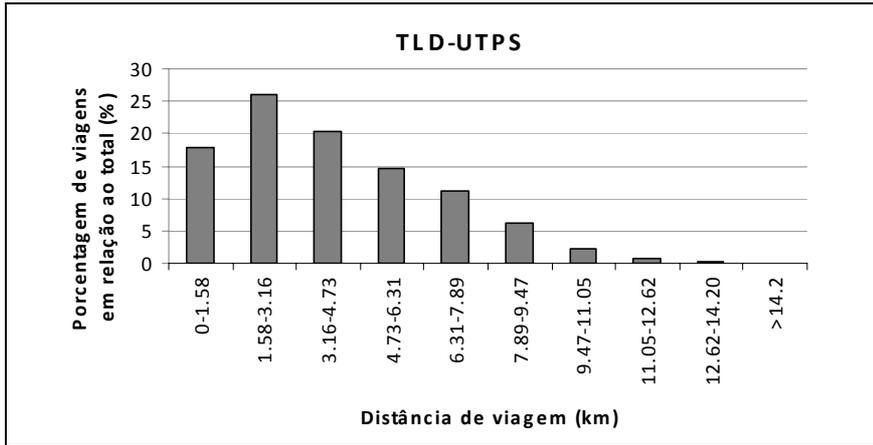


Figura 6.3 – TLD dos resultados do modelo UTPS (TLD-UTPS) - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

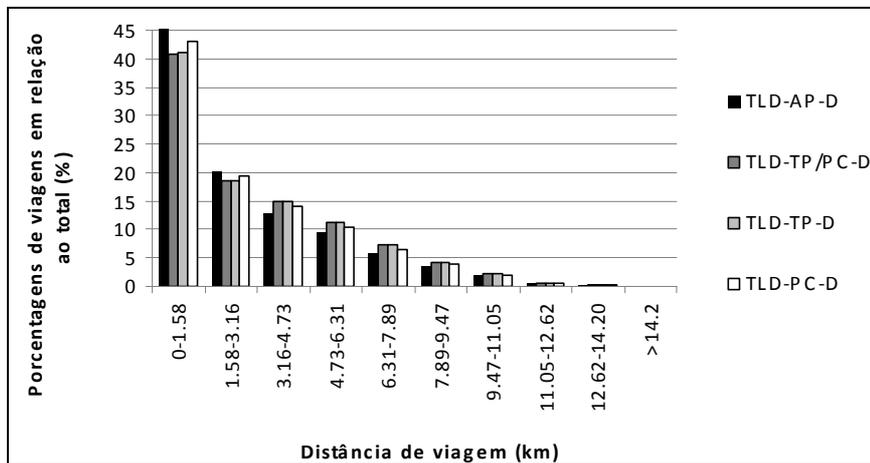


Figura 6.4 – TLD dos resultados dos modelos GDA-D - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

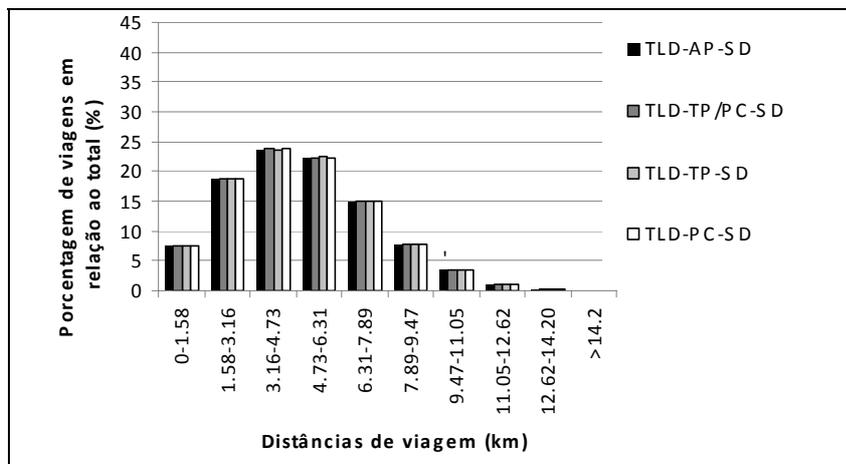


Figura 6.5 – TLD dos resultados dos modelos GDA-SD - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

6.2.2 Análise dos gráficos *TLD*

Para analisar os gráficos *TLD* foram considerados a Taxa de Coincidência (TC) e o teste Kolmogorov-Smirnov (KS). A TC é calculada a partir da comparação entre duas áreas delimitadas pelas curvas *TLD*, uma referente aos resultados estimados e a outra aos resultados observados, cujos valores variam entre zero (nenhuma área coincidente) e um (áreas totalmente coincidentes). A TC é calculada pela Equação (27),

$$TC = \frac{\sum_{t=1}^T \min\left\{\frac{f^m(t)}{F^m}, \frac{f^0(t)}{F^0}\right\}}{\sum_{t=1}^T \max\left\{\frac{f^m(t)}{F^m}, \frac{f^0(t)}{F^0}\right\}} \times 100 \quad (27)$$

em que $f^m(t)$ é a frequência de viagens estimadas pelo modelo em um determinado intervalo; $f^0(t)$ é a frequência de viagens observadas num determinado intervalo; F^m é o total de viagens estimadas pelo modelo; F^0 é o total de viagens observadas, t é o intervalo analisado e T é o número de intervalos. Uma explicação detalhada para o cálculo do TC encontra-se na documentação do CrimeStat, um programa computacional de análise de estatística espacial (CRIMESTAT, 2005).

O teste Kolmogorov-Smirnov (KS) é um teste não-paramétrico que serve para verificar se a distribuição dos dados de uma amostra coincide com uma determinada função de distribuição de probabilidade. Também pode ser usado para verificar se duas amostras possuem distribuições semelhantes. Para isto, é analisada a máxima diferença absoluta entre a distribuição acumulada dos dados das duas amostras, cujo valor é comparado ao valor crítico do teste para um determinado nível de significância. A estatística usada para o teste é definida na Equação (28),

$$D_n = \sup |F_a(x) - F_b(x)| \quad (28)$$

em que D_n é o parâmetro de comparação com o valor crítico a um nível de significância; $F_a(x)$ é função de distribuição acumulada da amostra a em x ; $F_b(x)$ é a função de distribuição acumulada da amostra b em x . Maiores detalhes sobre o método são encontrados em Conover (1999).

Esta análise foi subdividida em três etapas: Comparação entre os *TLDs* dos modelos GDAs e dos resultados observados; Comparação entre os *TLDs* dos resultados dos modelos gravitacionais e dos resultados observados; e Comparação entre os *TLD* dos resultados dos modelos GDA e gravitacional.

6.2.2.1 Comparação entre os *TLD* dos resultados dos modelos GDA e os dos resultados observados

O *TLD* proveniente dos resultados observados na amostra ED, aqui denominado *TLD-G-OD*, foi o parâmetro de comparação nesta primeira etapa de análise. Os *TLDs* dos resultados dos dois grupos de modelos GDA (modelos GDA-D e GDA-SD) foram comparados com o *TLD-G-OD* para o cálculo de TC e do teste KS. Os valores de TC, do teste KS e a visualização das áreas coincidentes em relação ao *TLD-G-OD* estão mostrados na Figura 6.6, referente aos modelos GDA-D, e na Figura 6.7, referente aos modelos GDA-SD.

De modo geral, os modelos que consideram a distância na distribuição de viagens (modelos GDA-D) apresentam valores de TC superiores àqueles que não consideram a distância (modelos GDA-SD). Entre os modelos GDA-D, o que apresentou maior TC foi o TP/PC-D (em destaque na Figura 6.6), com TC igual a 75,04%, o que pode indicar que as variáveis *total_prob* e *peso_CDB*, ao serem consideradas simultaneamente com a distância, contribuem para estimar uma distribuição de viagens mais semelhante aos resultados observados na área de estudo.

Já entre os modelos GDA-SD, observa-se que os valores de TC são semelhantes entre si, sendo o modelo AP-SD o que apresenta um TC numericamente maior que os demais, cujo valor é 57,33% (Figura 6.7). Isto pode indicar que a interferência das variáveis *total_prob* e *peso_CDB* não contribui para incrementar o valor de TC em modelos que não consideram a distância de viagem, sendo a distribuição de viagens condicionada aos valores da variável *<atividade>_prob*.

Para o teste KS foi considerado o valor de *n* igual a 10 (quantidade de intervalos de distância considerados no *TLD*) e os valores críticos resultantes foram de 0,409 e 0,490 para os níveis de significância de 5% e 1% respectivamente. Observa-se que os valores de KS apresentados pelos modelos são menores do que os valores críticos, não permitindo rejeitar estatisticamente a hipótese de que as distribuições de *TLD* dos resultados estimados pelo modelos são semelhantes aos resultados observados na área de estudo.

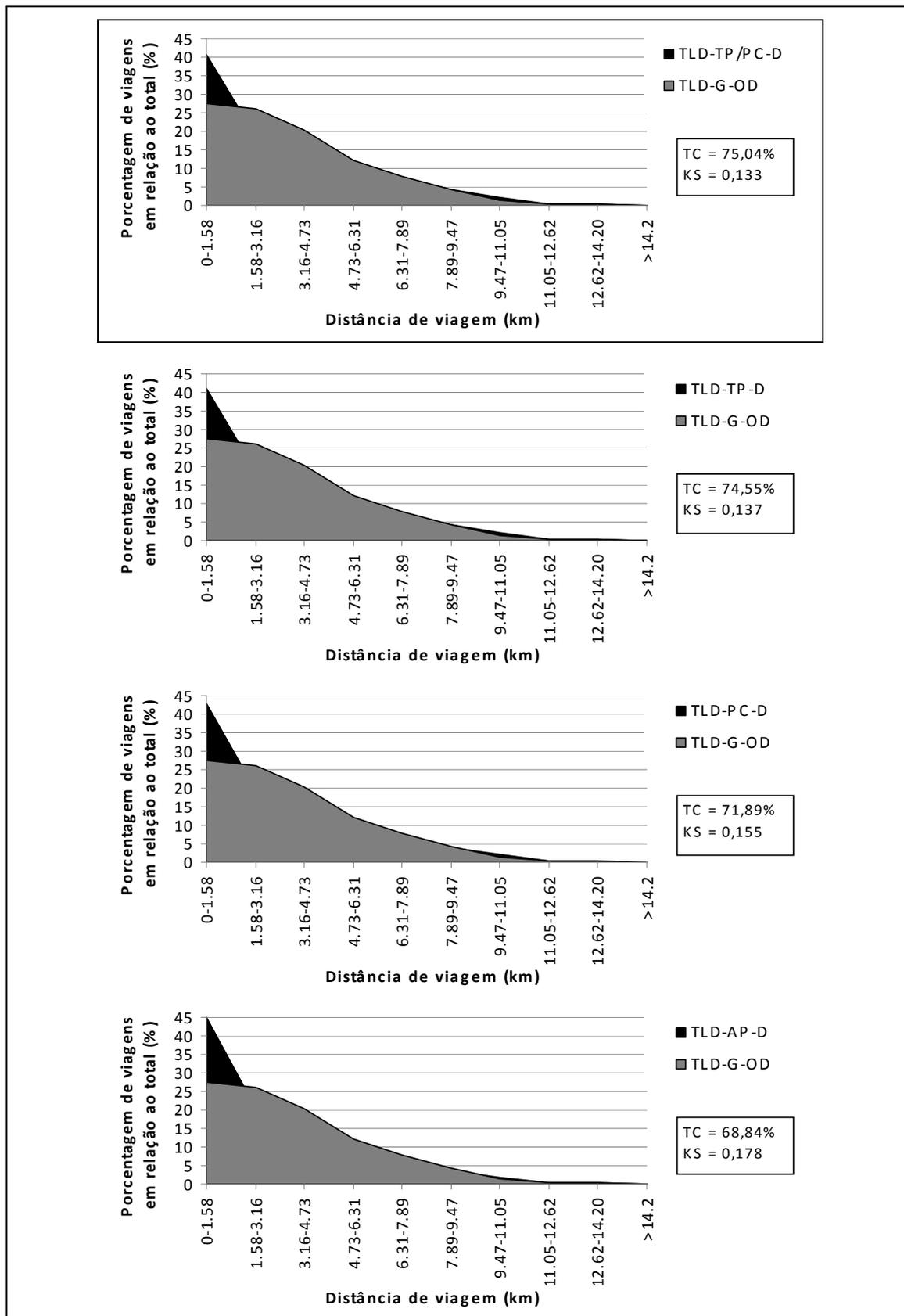


Figura 6.6 – TC e teste KS dos TLDs dos resultados dos modelos GDA-D em relação a TLD-G-OD - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

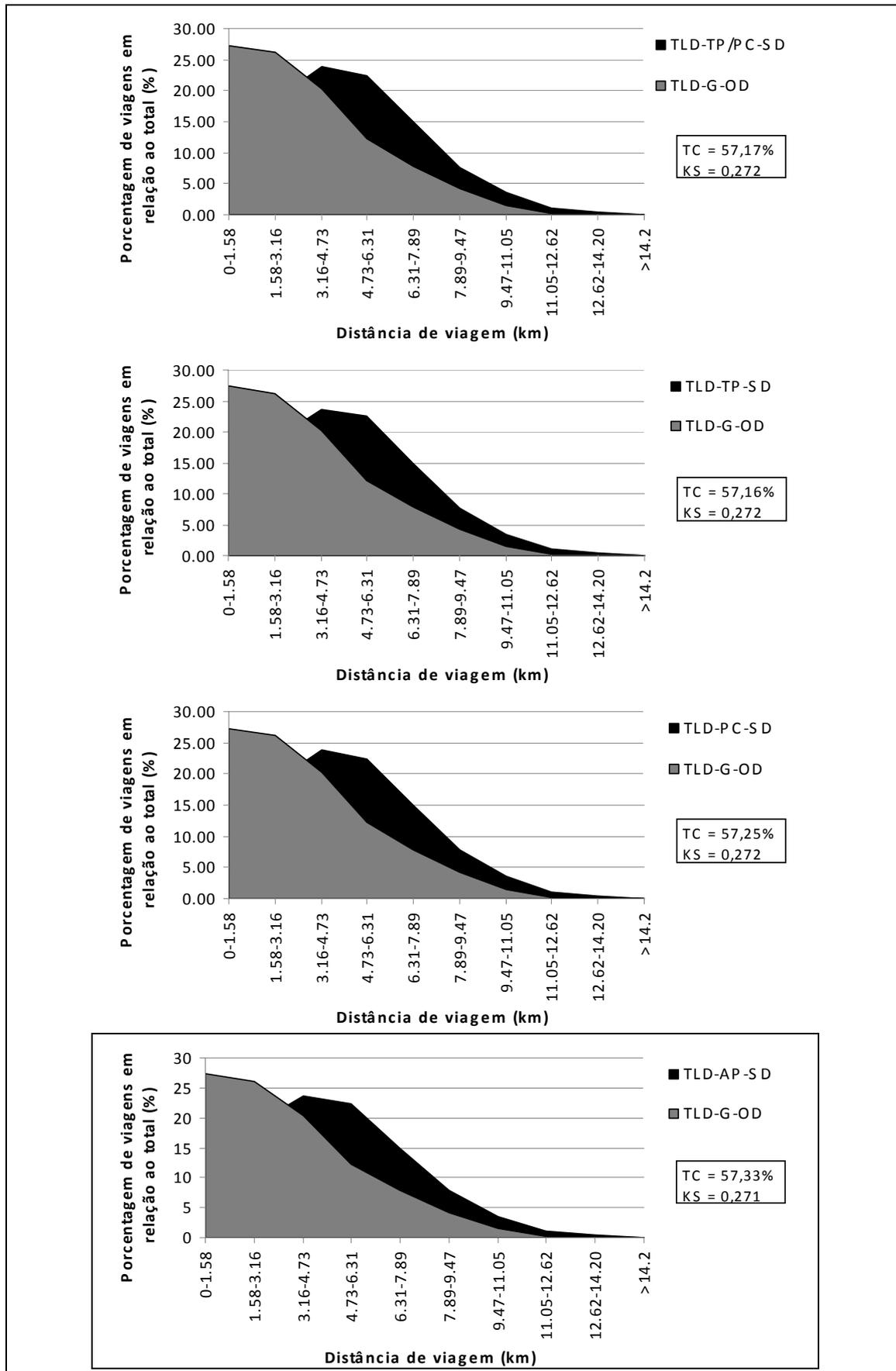


Figura 6.7 – TC e teste KS dos TLDs dos resultados dos modelos GDA-SD com relação a TLD-G-OD - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

No trabalho de Meister *et al*, (2010), ao comparar o *TLD* estimado pelo *MATSim* com o observado, obtém-se uma TC igual a 69%, caracterizando um valor intermediário aos obtidos pelo modelo TP/PC-D (75%) e AP-SD (57%). Apesar dos resultados serem referentes a áreas urbanas diferentes, observa-se que a grandeza das diferenças nas comparações do presente estudo é compatível com o valor encontrado em Meister *et al*, (2010). Quanto ao teste KS, os valores são menores que o KS crítico, não permitindo rejeitar a hipótese de similaridade entre as duas distribuições. Aqui foi considerado n igual a 14 e os valores críticos são 0,349 (5%) e 0,418 (1%). A representação gráfica do *TLD* estimado e observado neste trabalho, bem como os valores de TC e KS, é mostrada na Figura 6.9. Os dados numéricos de Meister *et al*, (2010) estão no Apêndice J.

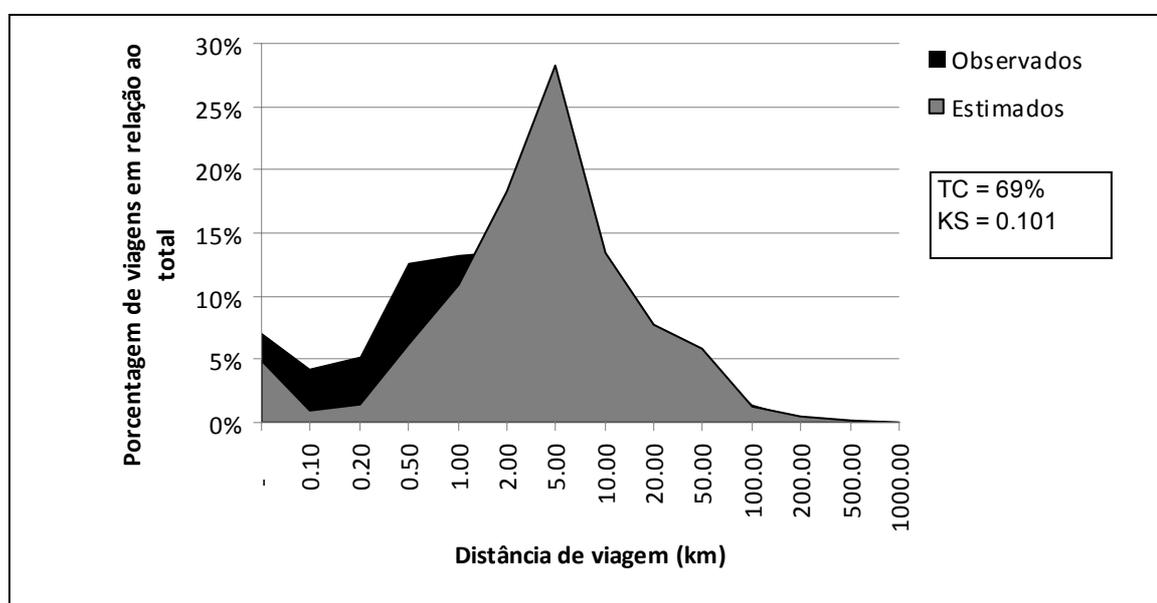


Figura 6.8 – TC e teste KS entre os valores estimados pelo *MATSim* e os observados. Gráfico feito com os resultados de Meister *et al*. (2010)

Como os modelos, dentro de cada grupo (GDA-D e GDA-SD), são semelhantes entre si, optou-se por escolher um tipo de modelo de cada grupo para as próximas etapas de análise. Logo, como não foi possível diferenciar os modelos a partir do teste KS, os modelos que possuem um maior valor de TC em cada grupo, o TP/PC-D e o AP-SD, foram selecionados para dar seguimento à análise dos resultados.

Também foi feito o cálculo do TC e do KS entre os modelos selecionados para verificar a semelhança entre ambos, cujos resultados encontram-se na Figura 6.9. A TC mostra que apenas metade da área do *TLD* é compartilhada entre os dois modelos, indicando uma fraca similaridade. Por outro lado, apesar de ter dado um valor próximo ao valor crítico, o teste KS

ainda passa nos níveis de significância 1% e 5%, o que não possibilita rejeitar a hipótese de similaridade entre as duas distribuições.

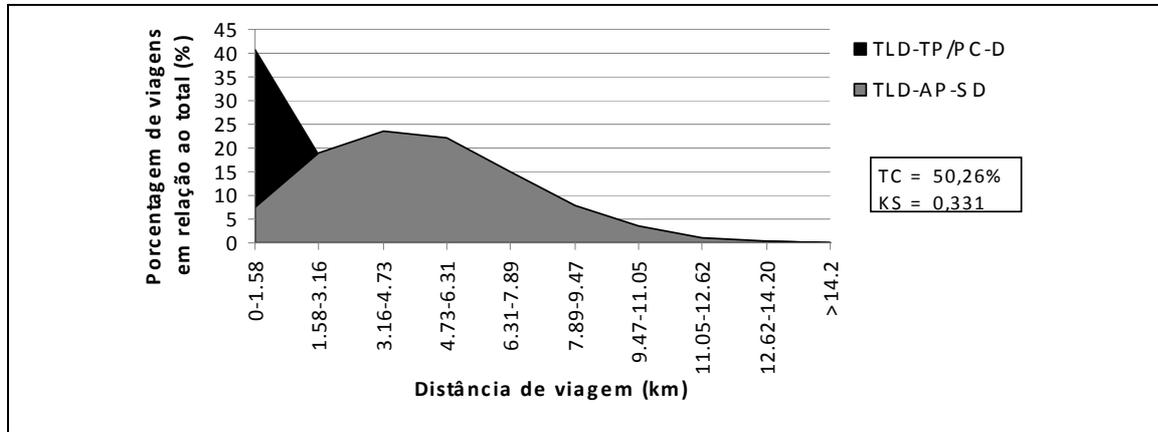


Figura 6.9 – TC e teste KS entre o *TLD* dos resultados dos modelos TP/PC-D e AP-SD - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

6.2.2.2 Comparação entre os *TLD* dos resultados dos modelos gravitacionais e os dos resultados observados

Nesta segunda etapa de análise, o objetivo foi comparar a distribuição do *TLD* dos resultados dos modelos gravitacionais entre si e com relação a *TLD-G-OD*. A comparação entre os modelos gravitacionais, bem como os valores de TC e KS, é apresentada na Figura 6.10. Os valores de TC e do teste KS obtidos a partir da comparação com o modelo G-OD estão ilustrados na Figura 6.11. Os valores críticos do teste KS são os mesmos da etapa anterior (0,409 para 5% de significância e 0,490 para 1% de significância).

Ao comparar os modelos gravitacionais entre si, os valores de TC e do teste KS indicam similaridade. Apesar de apresentarem discrepâncias nos dois primeiros intervalos (menores distâncias), nos demais intervalos o comportamento dos dois modelos segue o mesmo padrão.

Também nota-se similaridade entre os *TLDs* dos resultados dos modelos gravitacionais com relação a *TLD-G-OD*, indicando que os *TLDs* obtidos retratam de maneira satisfatória a distribuição das distâncias de viagem observado na amostra ED.

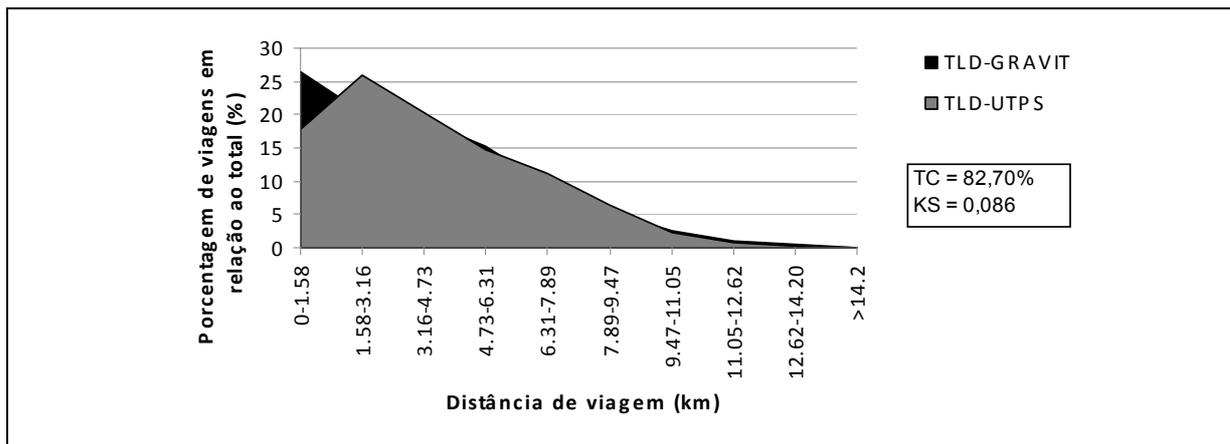


Figura 6.10 – TC e KS do *TLD-GRAVIT* com relação ao *TLD-UTPS* - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

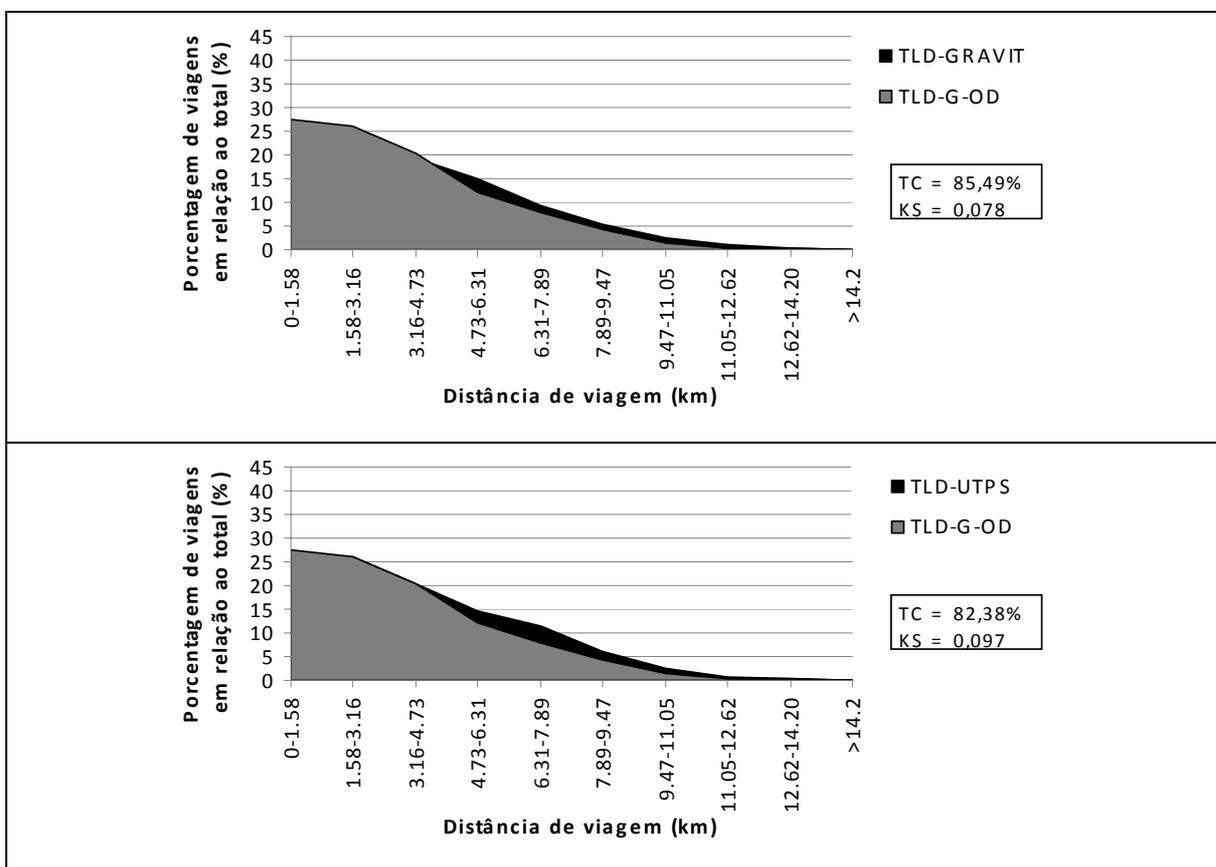


Figura 6.11 – TC e teste KS dos *TLD-GRAVIT* e *TLD-UTPS* com relação a *TLD-G-OD* - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

6.2.2.3 Comparação entre os *TLD* dos resultados dos modelos GDA e os dos modelos gravitacionais

Nesta terceira etapa de análise, o objetivo foi comparar a distribuição do *TLDs* dos resultados entre os modelos GDAs TP/PC-D e AP-SD, e modelos gravitacionais GRAVIT e UTPS. Os *TLDs* dos resultados dos modelos GDAs comparado aos dos modelos gravitacionais, juntamente com os valores de TC e KS, estão na Figura 6.12, para *TLD-TP/PC-D*, e na Figura 6.13, para *TLD-AP-SD*.

Observa-se que o *TLD-TP/PC-D*, que considera as distâncias de deslocamento na distribuição das viagens, possui um comportamento mais parecido com *TLD-GRAVIT* do que com o *TLD-UTPS*. Uma possível justificativa para este resultado é que, ao considerar a variável *total_prob* no processo de distribuição de viagens, são priorizados, além dos destinos que originam menores deslocamentos, os que também se localizam próximos às áreas com maior densidade populacional, pois possuem uma maior procura e, portanto, um maior valor de *total_prob*. Isto faz com que as estimativas de atração e produção neste modelo sejam equilibrados de forma semelhante ao do modelo gravitacional duplamente restringido, que é o caso do modelo GRAVIT.

Por outro lado, o *TLD-AP-SD*, que não considera as distâncias na distribuição de viagens, possui maior similaridade *TLD-UTPS* do que com o *TLD-GRAVIT*. Neste caso, uma possível explicação é que a distribuição de viagens no modelo AP-SD é fundamentada na variável *<atividade>_prob*, sendo o processo de escolha do destino condicionado apenas à possibilidade de realizar a atividade que motivou o deslocamento, não importando a distância. Tendo em vista que esta variável é relacionada à atração de viagens para cada setor, o resultado da distribuição assemelha-se ao do modelo UTPS, pois este é um modelo gravitacional restringido apenas no vetor Atração.

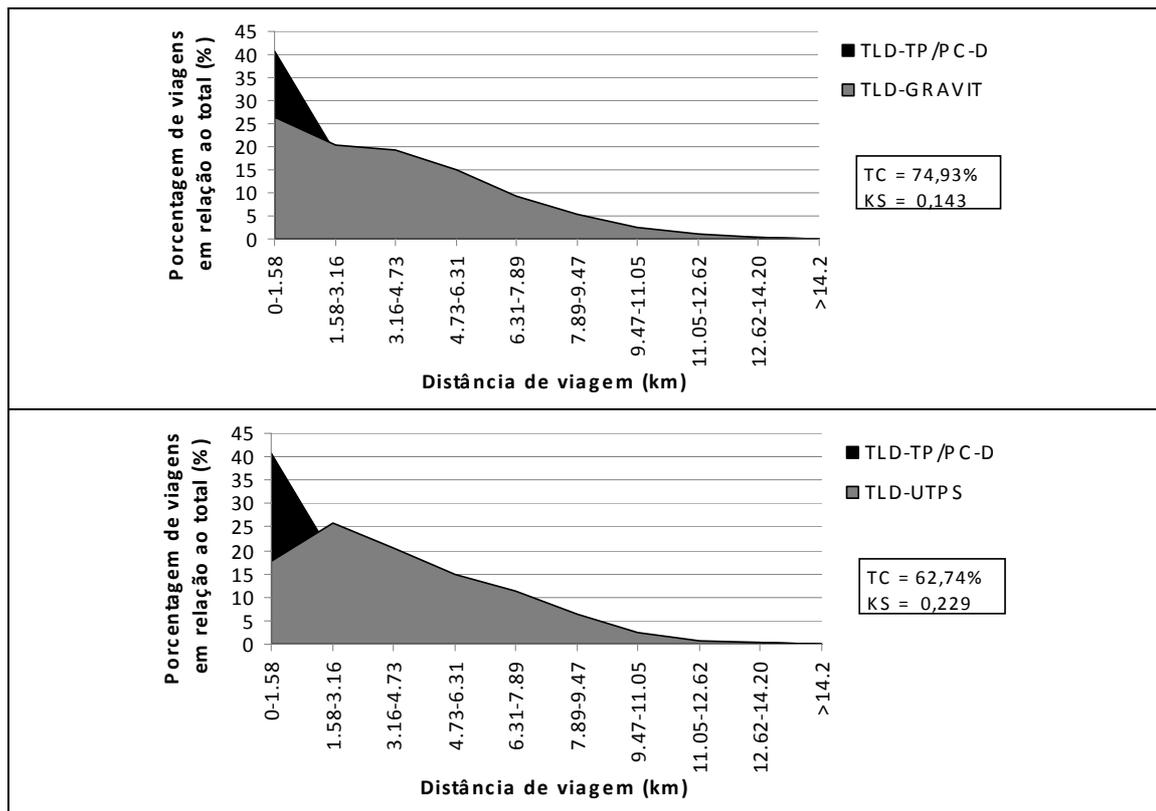


Figura 6.12 – TC e teste KS entre TLD-TP/PC-D e os TLDs dos resultados dos modelos gravitacionais - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

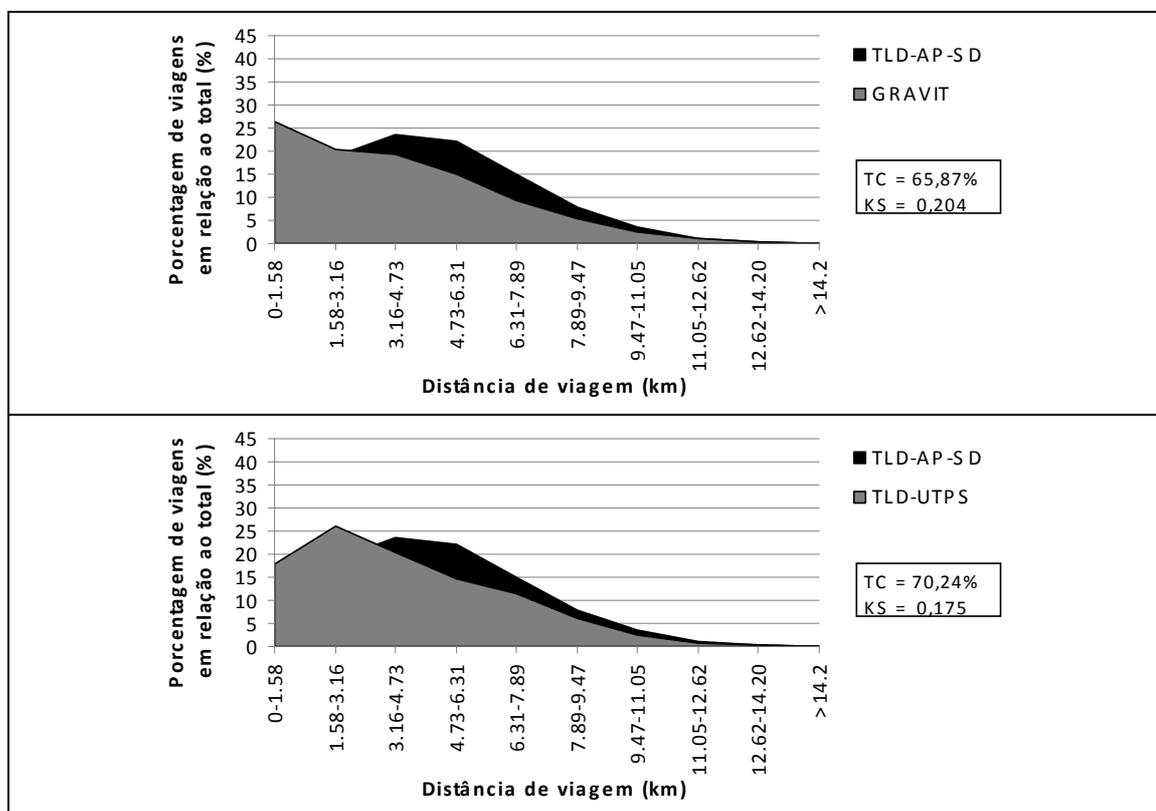


Figura 6.13 – TC e teste KS entre TLD-AP-SD e os TLDs dos resultados dos modelos gravitacionais - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

Os valores de TC obtidos a partir da análise entre os TLDs dos resultados dos modelos GDA e gravitacional são relacionados aos do trabalho de Zhao *et al*, (2004). Este trabalho apresenta uma comparação entre as estimativas obtidas por um modelo gravitacional, por um modelo de oportunidades intervenientes (MOI) e por um modelo de escolha discreta (MED) para uma mesma região urbana. Estes valores foram avaliados a partir de uma medida de porcentagem de erro, calculado conforme a Equação (29),

$$\%ERRO = \left| 1 - \frac{TC_{alt}}{TC_{gravit}} \right| \times 100 \quad (29)$$

em que TC_{gravit} é o TC relativo ao modelo gravitacional e o TC_{alt} é o TC relativo ao modelo alternativo ao gravitacional, que, neste caso, são: os modelos GDA TP/PC-D e AP-SD; e os Modelos de Oportunidades Intervenientes (MOI) e de Escolha Discreta (MED), avaliados em Zhao *et al*, (2004).

A porcentagem de erro na comparação entre os TCs dos modelos alternativos e os dos modelos gravitacionais está na Tabela 6.1. Em Zhao *et al*, (2004), percebe-se que os modelos alternativos possuem um TC semelhante ao dos modelos gravitacionais, sendo a porcentagem do erro do modelo MOI igual a 8% e do modelo MED igual a 6%. Entre os modelos GDA, o modelo TC/PC-D apresenta erros menores e mais próximos dos que foram obtidos em Zhao *et al*, (2004). Por meio desta comparação, é possível observar que as diferenças apresentadas no TC do modelo TC/PC-D em relação aos TCs dos modelos gravitacionais são semelhantes às diferenças apresentadas nos resultados de Zhao *et al*, (2004), Já as comparações do TCs dos modelos gravitacionais com o TC do modelo AP-SD apresentam uma porcentagem de erro superior aos demais resultados.

Tabela 6.1 – Porcentagem de erro em relação ao TC dos TLDs dos resultados observados e estimados pelos modelos alternativos e gravitacionais - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

Modelo	% ERRO
TP/PC - D (em rel, ao GRAVIT)	12%
TP/PC - D (em rel, ao UTPS)	9%
AP - SD (em rel, ao GRAVIT)	33%
AP - SD (em rel, ao UTPS)	30%
Estudo comparativo	% ERRO
MOI (Zhao <i>et al</i> , 2004)	8%
MED (Zhao <i>et al</i> , 2004)	6%

Por fim, um resumo dos resultados da análise do *TLD* das duas configurações do GDA, TP/PC-D e AP-SD, são apresentados na Tabela 6.2. Estes modelos são usados nas próximas análises, e que representam, respectivamente, os grupos de modelos GDA-D e GDA-SD.

Tabela 6.2 - Resumo dos resultados da análise da distribuição de viagens (*TLD*) - aplicação à cidade de São Carlos (SC)

				G-OD	GRAVIT	UTPS	TP/PC-D	AP-SD
MODELOS GDA	GDA-D	TP/PC-D	TC	75,04%	74,93%	62,74%	*	50,26%
			KS	0,133	0,143	0,229	*	0,333
	GDA-SD	AP-SD	TC	57,33%	65,87%	70,24%	50,26%	*
			KS	0,271	0,204	0,175	0,333	*

6.3 Resultados das matrizes PA

6.3.1 Apresentação dos resultados das matrizes PA

Para abordar os resultados observados, são apresentadas a produção e a atração de viagens provenientes da expansão da matriz OD, cujo método foi descrito na seção 4.5.3 (Expansão da matriz Produção-Atração). Conforme já mencionado, estes resultados observados correspondem a uma média entre os valores obtidos pelas três amostras da pesquisa OD (ED, PAD_1 e PAD_2). Os mapas temáticos que ilustram a distribuição da produção e da atração de viagens são apresentados na Figura 6.14. As tabelas com os valores observados de produção e de atração de viagens estão no Apêndice L.

Percebe-se, pela leitura dos mapas da Figura 6.14, que há uma produção de viagens concentrada nas UEAs das zonas periféricas da cidade, que é o local onde há a maior parte dos loteamentos residenciais. Já a atração de viagens está relacionada aos tipos de uso do solo encontrados na cidade, como áreas industriais, área central e campi universitários.

Observa-se também, nos dois mapas, que há contraste nos valores de estimativa de viagens entre as UEAs, ou seja, há muitas UEAs classificadas nos extremos da legenda, nas cores branco e preto.

Quanto aos resultados estimados, são apresentadas, em mapas temáticos, apenas as estimativas de produção de viagens dos modelos GDA e gravitacional, pois, conforme já visto na seção 5.1.3.1 (Definição das variáveis de atratividade), a estimativa de viagens atraídas já é um dado de entrada para estes modelos . Quanto aos modelos GDA, são abordados apenas os que apresentaram melhores resultados na análise do *TLD*, ou seja, os modelos TP/PC-D e AP-SD.

Observa-se que nos modelos GDA e gravitacional a produção de viagens está concentrada nas áreas periféricas da cidade, semelhante aos resultados observados na pesquisa OD. Entretanto, os valores das viagens estimados na UEA por estes modelos são mais uniformes entre si, conforme indicado pelas classes intermediárias da legenda, nas cores cinza claro e escuro. Os valores são mais uniformes nas estimativas do Modelo GDA do que nos gravitacionais, pois há predominância de uma classe de valores.

Figura 6.14 – Resultados observados: (a) Produção de viagens e (b) Atração de viagens para as atividades *trabalhar e estudar* (SÃO CARLOS, 2007d)

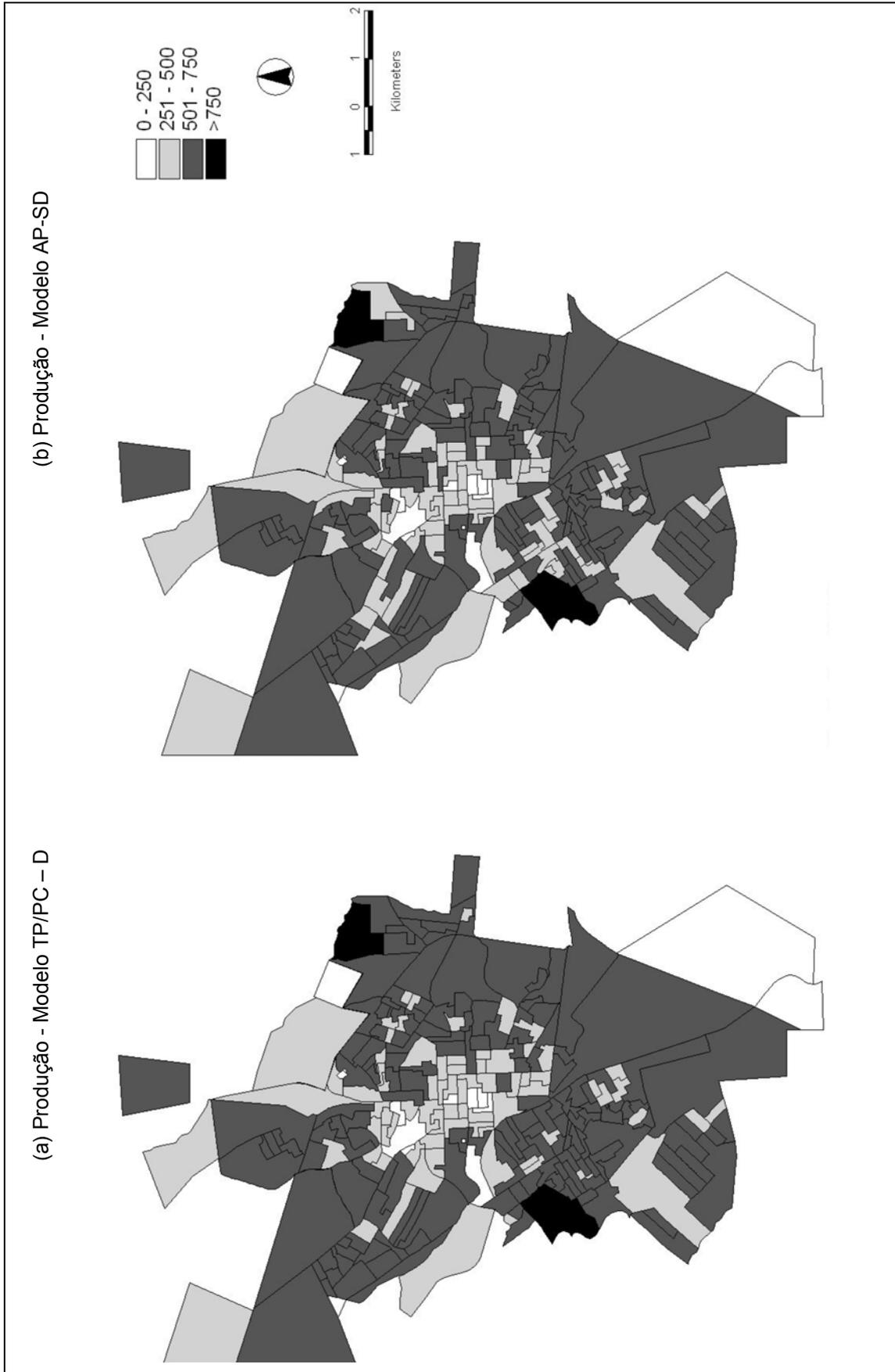


Figura 6.15 – Estimativas das viagens produzidas pelos modelos GDA para as atividades *trabalhar e estudar* - aplicação à cidade de São Carlos (SC): (a) Modelo TP/PC - D e (b) Modelo AP-SD

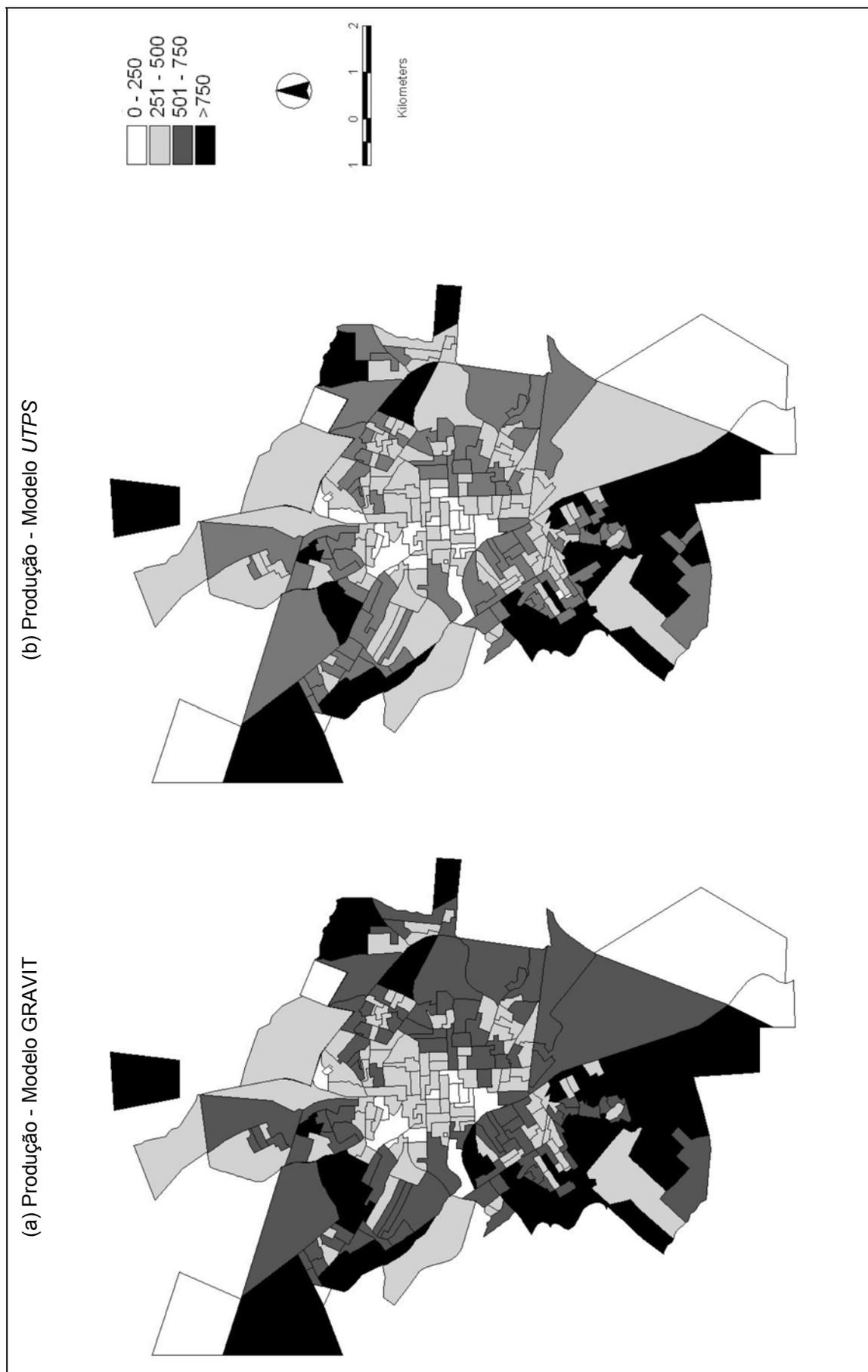


Figura 6.16 – Estimativas das viagens produzidas pelos modelos gravitacionais para as atividades *trabalhar e estudar* - aplicação à cidade de São Carlos (SC): (a) Modelo GRAVIT - D e (b) Modelo UTPS

6.3.2 Análise das matrizes PA

Para analisar as matrizes PA, foram usados o Teste Qui-quadrado (χ^2), o Erro Quadrático Médio (EQM) e o Intervalo de Variação (IV). Nesta análise foram considerados apenas os modelos GDA que apresentaram melhores resultados na análise do TLD, ou seja, os modelos TP/PC-D e AP-SD, juntamente com os modelos gravitacionais GRAVIT e UTPS.

6.3.2.1 Análise do Teste Qui-Quadrado e Erro Quadrático Médio

O Teste Qui-Quadrado (χ^2) e Erro Quadrático Médio (EQM) são considerados medidas de acurácia da distribuição espacial das viagens (ZHAO *et al.*, 2004) e foram calculados conforme as equações (30) e (31),

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Observado} - \text{Estimado})^2}{\text{Estimado}} = \sum \frac{(N - T)^2}{T} \quad (30)$$

$$EQM = \frac{\sum (N - T)^2}{n} \quad (31)$$

em que N e T representam, respectivamente, os fluxos observados e estimados nas UEA ; n representa a quantidade de UEAs. Quanto menor for o valor das medidas χ^2 e EQM, maior é a acurácia na distribuição espacial das viagens estimadas pelo modelo. Os valores destas medidas para cada modelo estão no Apêndice R.

Em vez de examinar os valores χ^2 e EQM obtidos de para cada modelo, foi analisada a razão entre os valores obtidos para os modelos GDA e para os modelos gravitacionais, com o objetivo de avaliar a variabilidade destas medidas entre modelos alternativos e modelos gravitacionais. A porcentagem de erro ao comparar os valores de χ^2 e EQM para os modelos GDA TC/PC-D e AP-SD em relação aos modelos gravitacionais GRAVIT e UTPS está indicada na Tabela 6.3. Esta porcentagem de erro foi calculada conforme as Equações (32) e (33),

$$\%ERRO(\chi^2) = \left| 1 - \frac{\chi^2_{alt}}{\chi^2_{gravit}} \right| \times 100 \quad (32)$$

$$\%ERRO(EQM) = \left| 1 - \frac{EQM_{alt}}{EQM_{gravit}} \right| \times 100 \quad (33)$$

em que $\%ERRO(\chi^2)$ e $\%ERRO(EQM)$ é a porcentagem de erro relativo aos valores de χ^2 e EQM na comparação entre modelos; χ^2_{alt} e EQM_{alt} são as medidas de χ^2 e de EQM para os modelos alternativos e χ^2_{gravit} e EQM_{gravit} são as medidas de χ^2 e de EQM para os modelos gravitacionais. Os dados usados para calcular esta porcentagem de erro para os modelos TP/PC-D e AP-SD estão no Apêndice H.

A Tabela 6.3 também contém uma análise dos resultados publicados em Zhao *et al*, (2004), que apresenta a porcentagem de erro χ^2 e EQM obtida com os resultados dos modelos MOI e MED em relação ao modelo gravitacional. Observa-se que as porcentagens de erro χ^2 e EQM dos modelos GDA são menores que as dos demais modelos alternativos. Estes resultados podem indicar que, ao considerar as medidas χ^2 e EQM, os modelos GDA apresentam estimativas mais próximas do modelo gravitacional do que os modelos alternativos analisados em Zhao *et al*, (2004). Os dados provenientes de Zhao *et al*, (2004) usados para calcular a porcentagem de erro está no Apêndice I.

Tabela 6.3 – Porcentagem de erro entre os modelos alternativos e o modelo gravitacional, com relação às medidas de χ^2 e EQM,

Modelo	Porcentagem de erro com relação ao modelo gravitacional	
	χ^2	EQM
TP/PC-D (em rel, ao GRAVIT)	0,6%	13,3%
AP-SD (em rel, ao GRAVIT)	0,6%	15,4%
TP/PC-D (em rel, ao UTPS)	0,5%	2,9%
AP-SD (em rel, ao UTPS)	0,6%	4,8%
MOI (ZHAO <i>et al.</i> , 2004)	40,9%	36,1%
MED (ZHAO <i>et al.</i> , 2004)	66,2%	61,3%

6.3.2.2 Análise do Intervalo de Variação (IV)

O Intervalo de Variação (IV) é calculado com os resultados da expansão da matriz das três amostras da pesquisa OD feita na cidade de São Carlos (SP), ED, PAD_1 e PAD_2. Por meio dos dados destas amostras foi possível calcular, para cada UEA, a média e o

desvio padrão dos valores observados de Produção e Atração (PA). Em cada UEA foi associado um IV delimitado por um limite máximo e mínimo. O limite máximo foi definido pela soma da média e desvio padrão, já o limite mínimo, pela diferença entre a média e o desvio padrão. Também foi calculada uma taxa de desvio do IV nas estimativas de produção e atração de viagens para determinar a amplitude do IV em cada UEA, conforme Equação (34),

$$T_{desvio} = 1 - \left(\frac{lim_{min}}{lim_{max}} \right) \times 100 \quad (34)$$

em que T_{desvio} é a taxa de desvio do IV expressa em porcentagem e o lim_{max} e lim_{min} são, respectivamente, o limite máximo e mínimo do IV. Quanto menor for o T_{desvio} , mais preciso é o levantamento dos resultados observados na UEA, pois possuem menor amplitude entre os valores de limite máximo e mínimo. A distribuição espacial da taxa de desvio dos resultados observados de produção e atração por UEA está no mapa temático presente na Figura 6.17. De modo geral, quanto aos resultados de produção de viagens, observa-se que os menores desvios concentram-se nas áreas periféricas da cidade, as quais predominam o uso residencial. Já quanto aos resultados de atração, os menores desvios concentram-se na área central e nos setores que abrigam áreas industriais e de serviços, sobretudo campi universitários.

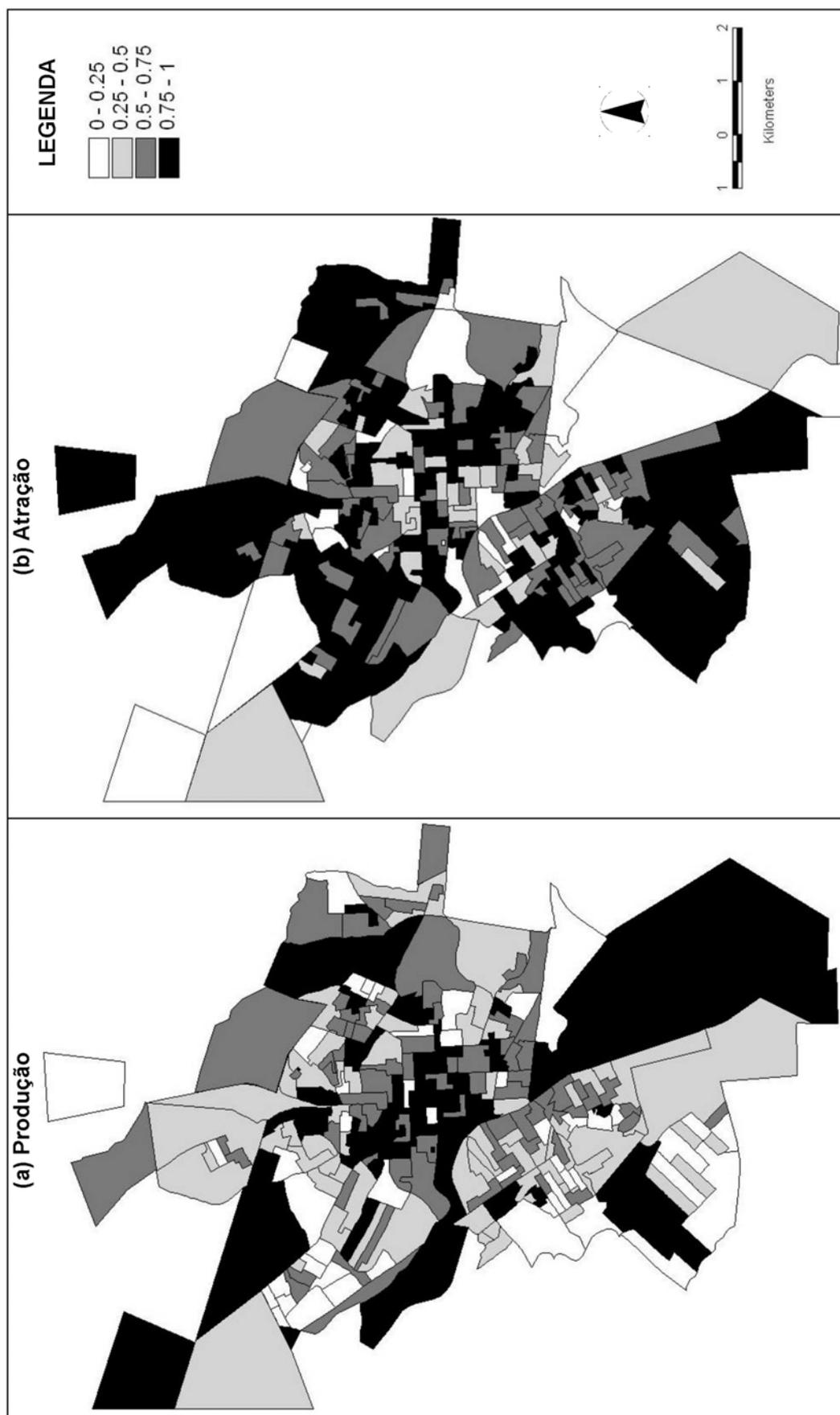


Figura 6.17 – Taxa de desvio dos resultados observados por setor censitário: (a) Produção; (b) Atração

Para validar a estimativa de PA em cada UEA é necessário que o valor obtido pelo modelo esteja dentro do IV calculado para a respectiva UEA. A acurácia do modelo foi considerada diretamente proporcional à quantidade de UEAs validadas e à quantidade de UEAs validadas com o valor de T_{desvio} menor do que 0,50, as quais caracterizam uma amplitude de IV menor e um levantamento de resultados observados mais preciso. Os modelos que apresentaram maior quantidade de UEAs válidas foram o TC/PC-D, para os modelos GDA, e o UTPS, para os modelos gravitacionais. A porcentagem das UEAs válidas para cada modelo está na Tabela 6.4. Os resultados numéricos da validação das estimativas de PA estão no Apêndice S.

Tabela 6.4 – Porcentagem de UEAs válidas

Estimativa	% UEAs VÁLIDAS	
	<i>Em relação ao total de UEA</i>	<i>Em relação às UEA com IV < 0,50</i>
Atração	49%	17%
Produção - TC/PC - D	43%	29%
Produção - AP-SD	43%	26%
Produção - GRAVIT	44%	34%
Produção - UTPS	47%	39%

Primeiro, é apresentada a validação da estimativa de atração, pois é um dado de entrada para os modelos gravitacionais e GDA. Após, é apresentada a validação da produção, pois a estimativa de produção é um dado de saída destes modelos. A distribuição espacial da validação para cada modelo está em mapas temáticos, nos quais apresentam três classes na legenda: “ok”, significa que a estimativa está dentro do IV e, portanto, a UEA é validada; “MENOS”, significa que a estimativa foi menor que o limite mínimo do IV; e “MAIS”, significa que a estimativa foi maior que o limite máximo do IV.

A distribuição espacial da validação das estimativas de atração de viagens é apresentada na Figura 6.18. Apesar de ter 49% das UEAs válidas, muitas delas localizam-se nas áreas periféricas da cidade, não coincidindo com as UEAs com menor IV. Observa-se também que o modelo superestimou a atração de viagens para as UEAs com menor IV, as quais se localizam na área central, nas áreas industriais e campi universitários, É provável que este valor elevado seja devido ao fato do modelo fundamentar sua estimativa de atração de viagem apenas pelo uso do solo, concentrando a atração de viagens nas áreas com uso predominante não-residencial.



Figura 6.18 – Validação das estimativas de atração de viagens

A distribuição espacial da validação da produção de viagem está apresentada nas Figura 6.19, para os modelos GDAs, e Figura 6.20, para os modelos gravitacionais. Ademais, estes resultados de validação foram comparados entre os modelos GDA e gravitacional. A comparação é expressa em mapas temáticos, nos quais é possível verificar se as UEAs tiveram o mesmo resultado, ou resultados diferentes, na validação dos dois modelos. Nestes mapas é colocado um gráfico de barras para apontar a divergência entre as estimativas dos dois modelos nas UEAs com resultados de validação diferentes. Este gráfico não tem escala e seu objetivo é apenas ilustrar a distância entre estimativas destas UEAs. Na comparação de cada par de modelos, a quantidade de UEAs com resultados de validação diferentes, bem como a média, o mínimo e o máximo da diferença entre as estimativas das mesmas, está indicada na Tabela 6.5. A porcentagem de UEAs que divergem nos resultados para cada par de modelos está representada na matriz na Tabela 6.6.



Figura 6.19 – Validação da estimativa de produção de viagens: (a) Modelo GDA TP/PC-D; (b) Modelo GDA AP-SD



Figura 6.20 – Validação da estimativa de produção de viagens: (a) Modelo GRAVIT; (b) Modelo UTPS

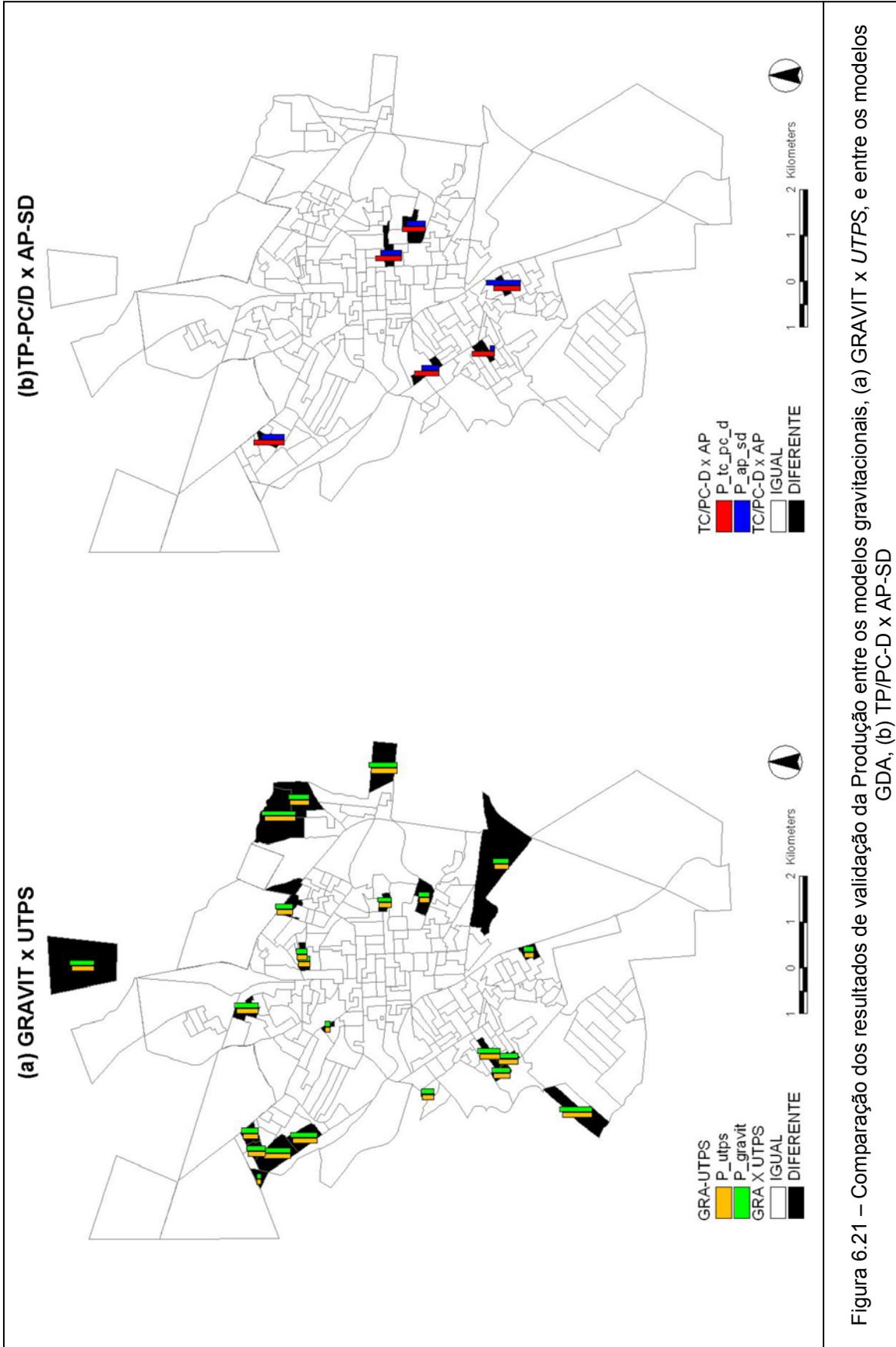


Figura 6.21 – Comparação dos resultados de validação da Produção entre os modelos gravitacionais, (a) GRAVIT x UTPS, e entre os modelos GDA, (b) TP/PC-D x AP-SD

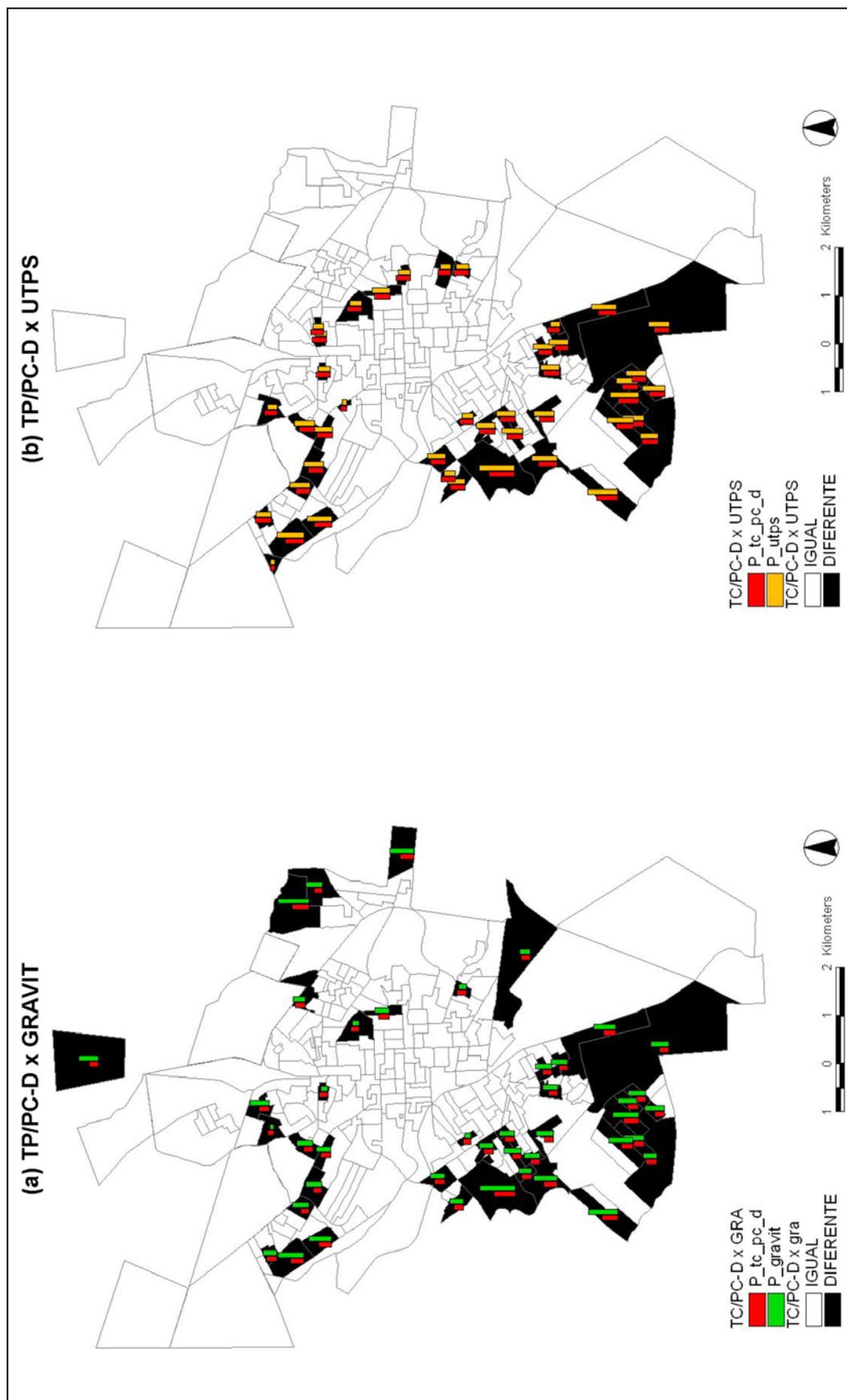


Figura 6.22 – Comparação dos resultados de validação da Produção do Modelo TP/PC-D com (a) Modelo GRAVIT; (b) Modelo UTPS

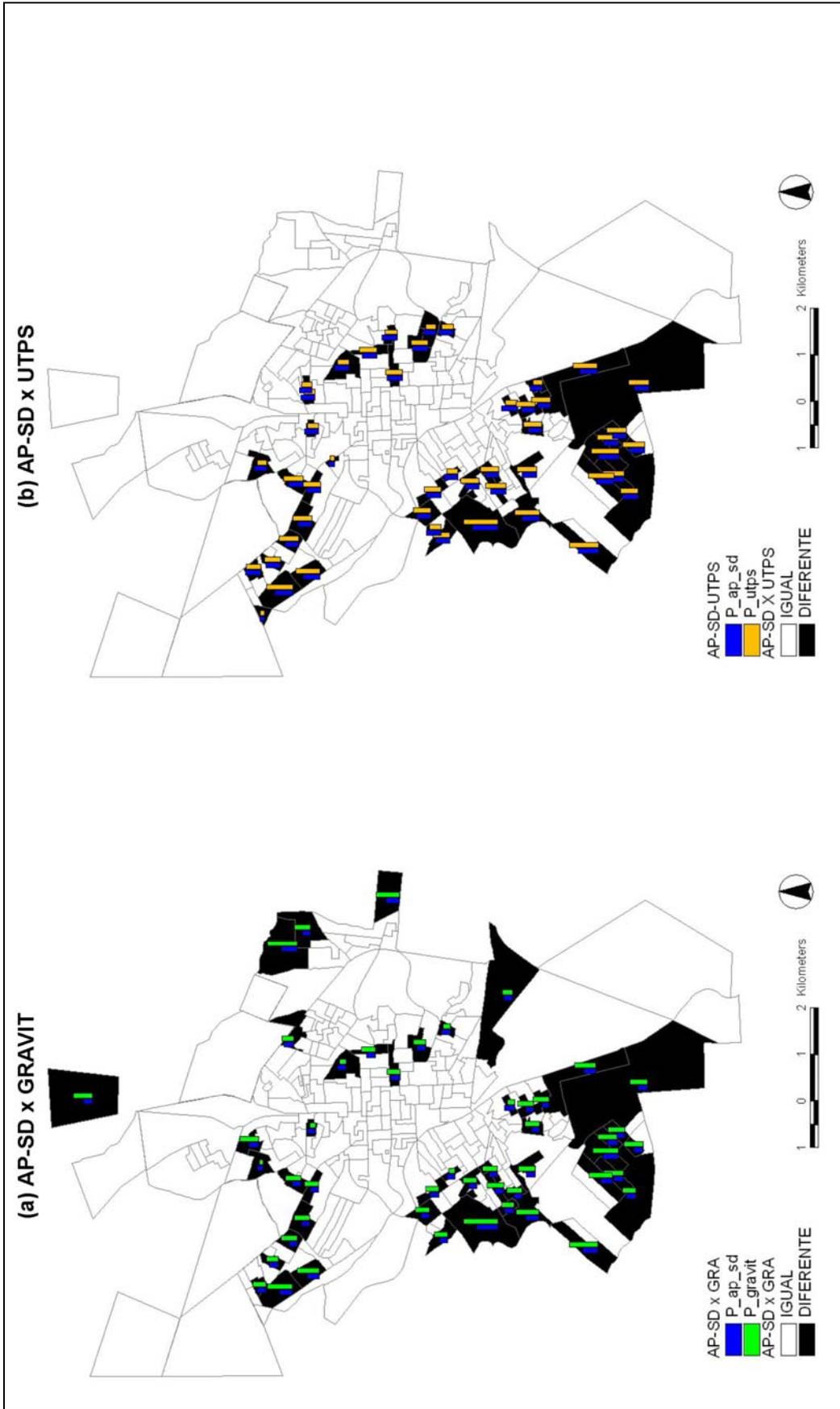


Figura 6.23 – Comparação dos resultados de validação da Produção do Modelo AP-SD com (a) Modelo GRAVIT; (b) Modelo UTPS

Tabela 6.5 – Estatística descritiva das diferenças das estimativas de produção de viagem das UEAs com resultado de validação diferente na comparação entre modelos

Par de modelos	Quantidade de UEAs com resultado diferente na validação	Estatística descritiva da diferença das estimativas de produção de viagem		
		média	máximo	mínimo
TC/PC - D x AP-SD	6	28	61	13
GRAVIT x UTPS	23	62	116	9
TC/PC - D x GRAVIT	43	259	510	50
TC/PC -D x UTPS	41	173	378	19
AP-SD x GRAVIT	48	257	508	50
AP-SD x UTPS	47	176	370	19

Tabela 6.6 – UEA com resultado de validação diferente na comparação entre os modelos (porcentagem com relação ao total)

	TC/PC - D	AP-SD	GRAVIT	UTPS
TC/PC - D	*	2%	17%	17%
AP-SD	*	*	19%	19%
GRAVIT	*	*	*	9%
UTPS	*	*	*	*

Observa-se na Figura 6.19 e na Figura 6.21 que, apesar das diferenças no *TLD*, cuja TC é igual a 50% (ver Figura 6.9), os modelos TC/PC-D e AP-SD figuram uma distribuição espacial de estimativas de produção de viagens muito semelhante, tendo apenas 2% de UEAs diferentes (ver Tabela 6.6). Esta semelhança é reforçada quando estes modelos são comparados aos modelos gravitacionais, como é apresentado na Figura 6.22 e na Figura 6.23, cujas UEAs divergentes coincidem na quantidade, em torno de 17% (ver Tabela 6.6), e no padrão de distribuição espacial. Nota-se também que nas UEAs divergentes os modelos gravitacionais apresentam estimativas de viagem superiores aos modelos GDA. Quanto aos modelos gravitacionais, ao serem comparados entre si (Figura 6.21), as estimativas da produção de viagens apresentaram semelhanças nas UEAs com resultado de validação diferente. Em termos numéricos, cujos valores estão indicados na Tabela 6.5, observa-se que na comparação entre os modelos GDA (TP/PC-D x AP-SD) e entre os modelos gravitacionais (GRAVIT x UTPS) a diferença entre as estimativas é menor do que as encontradas na comparação entre modelos GDA e modelos gravitacionais.

6.4 Resultados das matrizes OD

6.4.1 Apresentação dos resultados das matrizes OD

São apresentadas e analisadas as matrizes OD referentes aos modelos GDA e gravitacional. Quanto aos resultados observados, apenas foi considerada a matriz proveniente da amostra da pesquisa ED para calcular a porcentagem de viagens intrazonais. Não foi feita uma estimativa da matriz OD dos resultados observados, pois faltam informações para estimar as lacunas da matriz, como informações de contagens volumétricas⁸ da rede viária, por exemplo.

Devido ao grande número de UEAs consideradas na aplicação dos modelos na cidade de São Carlos (SP), representada por uma matriz OD de 253 linhas por 253 colunas, o resultado desta matriz foi traduzido em uma estimativa de fluxo de tráfego. Para compor esta estimativa, foi feita uma alocação de fluxos correspondentes aos pares OD. Para alocar os fluxos foi usado o método Tudo ou Nada (*All or Nothing*) do programa computacional TransCAD (CALIPER, 2005a). Como base para a alocação de fluxo, foi usada a rede viária que comporta as linhas de transporte público, pois é, na maior parte, composta por vias arteriais e coletoras. O objetivo é ilustrar a grandeza das diferenças entre o Modelo GDA em relação ao modelo gravitacional, considerando todo o fluxo de viagens estimado. A alocação de fluxo estimada pelos modelos está na Figura 6.24. Para avaliar numericamente as diferenças entre os modelos quanto à alocação de fluxo, foram obtidos parâmetros da estatística descritiva dos resultados estimados, como máximo, mínimo, média e desvio padrão dos fluxos de tráfego nos arcos da rede. Os valores destes parâmetros estão na Tabela 6.7. Também foi calculada uma porcentagem de erro da média dos fluxos de tráfego dos modelos GDA em comparação com o dos modelos gravitacionais, cujos valores aparecem na Tabela 6.8.

⁸ “As Contagens Volumétricas visam determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passam por um ou vários pontos selecionados do sistema viário, numa determinada unidade de tempo.” (DNIT, 2006b, p.101).

Tabela 6.7 – Estatística descritiva dos resultados observados e estimados de fluxo de tráfego

Modelo	FLUXO DE TRÁFEGO (número de viagens por trecho de via)			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
TP/PC-D	0	18 727	1 999	2 805
AP-SD	0	31 863	2 657	4 130
GRAVIT	0	27 271	2 507	3 767
UTPS	0	21 544	2 351	3 199

Tabela 6.8 – Porcentagem de erro quanto à média da estimativa de fluxo de tráfego dos modelos GDA com relação aos modelos gravitacionais

Modelo	% em relação ao modelo GRAVIT	% em relação ao modelo UTPS
TP/PC-D	-20%	-14%
AP-SD	+6%	+13%

Ao visualizar os mapas presentes na Figura 6.24, percebe-se pouca diferença na alocação de fluxo entre os modelos. Em geral, o modelo TP/PC-D tem a menor média de estimativa de fluxo de tráfego nos arcos da rede, enquanto o modelo AP-SD tem a maior. Os modelos gravitacionais possuem estimativas de fluxo semelhantes entre si.

Pela a análise dos valores apresentados na Tabela 6.7 e na Tabela 6.8 verifica-se que o modelo TP/PC-D possui todos os parâmetros com menor valor, sendo a média dos fluxos de 14% a 20% menores do que os estimados no modelo gravitacional. Já o modelo AP-SD possui os maiores valores dos parâmetros, sendo a média dos fluxos de 6% a 13% maior do que a encontrada nos modelos gravitacionais. Uma explicação para um maior erro associado ao modelo TP/PC-D pode ser a superestimativa das viagens intrazonais, que contribui para diminuir a estimativa de fluxo de tráfego para as demais UEAs e, logo, para diminuir o fluxo de tráfego na rede viária como um todo. A estimativa das viagens intrazonais é de uma forma mais aprofundada na seção seguinte.

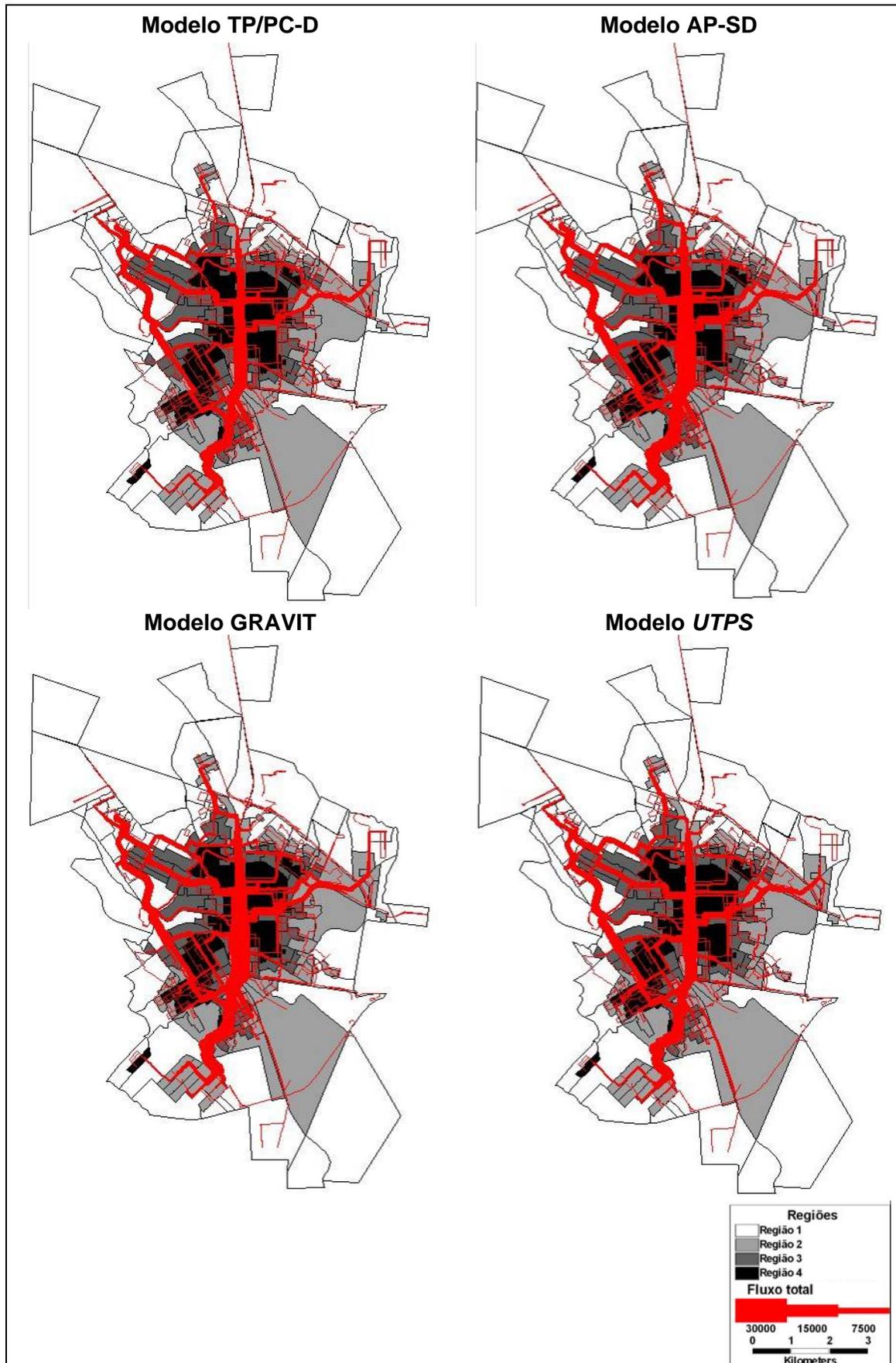


Figura 6.24 – Alocação de fluxo estimada pelos modelos

6.4.2 Análise das matrizes Origem - Destino

Para analisar as matrizes OD foram considerados: a porcentagem de viagens intrazonais em relação ao total de viagens, a avaliação dos pares OD segundo o fluxo de tráfego e a distribuição do número de viagens entre os pares OD.

6.4.2.1 Análise das viagens intrazonais

A porcentagem de viagens intrazonais em relação ao total de viagens está na Tabela 6.9, que contém tanto os resultados observados quanto os resultados estimados. Observa-se que os modelos GDA e os gravitacionais não obtiveram porcentagens de viagens intrazonais próximas aos resultados observados. Entretanto, ao contrário das análises anteriores, o modelo TP/PC-D foi o que apresentou o pior resultado, pois detém a maior diferença em relação aos resultados observados, superestimando as viagens intrazonais. É provável que os critérios de escolha dos destinos adotados pelo modelo TP/PC-D, que priorizam as menores distâncias de deslocamento, tenham contribuído para este resultado. As contagens das viagens intrazonais observadas na pesquisa OD e estimadas pelo modelo estão no Apêndice T.

Tabela 6.9 – Porcentagem de viagens intrazonais

Modelo	% viagens intrazonais em relação ao total	diferença entre o modelo e os resultados observados
<i>OD (resultados observados)</i>	4,6%	*
TP/PC-D	10,0%	+5,40%
AP-SD	0,4%	-4,20%
GRAVIT	1,1%	-3,50%
UTPS	1,4%	-3,20%

Uma comparação entre modelos alternativos e modelos gravitacionais com relação às estimativas de viagens intrazonais é apresentada na Tabela 6.10. Os valores são expressos em porcentagens de erro (%ERRO), cujo cálculo foi feito conforme a equação (35),

$$\%ERRO(V_{intra}) = \left| 1 - \frac{V_{intra-alt}}{V_{intra-gravit}} \right| \times 100 \quad (35)$$

em que $V_{intra-alt}$ e $V_{intra-gravit}$ são as porcentagens de viagens intrazonais no modelo alternativo e no modelo gravitacional, respectivamente.

Observa-se que o modelo TP/PC-D apresenta as maiores divergências em relação aos modelos gravitacionais. Já o modelo AP-SD obtém uma porcentagem de erro similar ao encontrado nas estimativas de Zhao *et al.*, (2004). O tratamento dos resultados de Zhao *et al.*, (2004) considerados para esta análise, bem como o cálculo das porcentagens de erro, estão no Apêndice I.

Tabela 6.10 – Porcentagem de erro nas estimativas das viagens intrazonais dos modelos alternativos com relação aos modelos gravitacionais

Modelos	%ERRO em relação aos modelos gravitacionais
TP/PC-D (em relação ao GRAVIT)	+254%
TP/PC-D (em relação ao UTPS)	+269%
AP-SD (em relação ao GRAVIT)	-20%
AP-SD (em relação ao UTPS)	-31%
Estudo comparativo	%ERRO em relação aos modelos gravitacionais
MOI (Zhao <i>et al.</i> , 2004)	-60%
ED (Zhao <i>et al.</i> , 2004)	-51%

6.4.2.2 Avaliação dos pares OD outliers

Quanto à avaliação do erro dos pares OD das estimativas dos modelos GDA em relação aos modelos gravitacionais, foi elaborada uma matriz de erro, cujo valor de cada célula foi calculado conforme a Equação (36),

$$ERRO_{ij} = \left| (E_{ij}^{GDA} - E_{ij}^{GRAVIT}) \right| \quad (36)$$

Em que E_{ij}^{GDA} e E_{ij}^{GRAVIT} são as estimativas de viagens dos pares OD nos modelos GDA e gravitacionais, respectivamente.

Considerando o conjunto de dados desta matriz de erros, foi calculado o limite *outlier* superior, conforme a Equação (37) (FRIGGE, HOAGLIN e IGLEWICZ, 1989):

$$ERRO_{outlier} > Q_3 + 1,5 \times IQ \quad (37)$$

Em que Q_3 e IQ são, respectivamente, o terceiro quartil e o intervalo interquartil do conjunto de dados da matriz de erros. Logo, os pares OD *outliers* são os que possuem valores acima do limite outlier superior.

As células dos pares OD *outliers* foram destacadas em vermelho nas matrizes, as quais podem ser visualizadas nas Figuras 6.26, 6.28, 6.30 e 6.31. Observa-se nestas matrizes um preenchimento gradativo que corresponde a uma divisão das UEAs conforme a variável *peso-CDB*, em que a cor branca corresponde aos menores valores da variável e a cor preta aos maiores valores. O intuito de usar este preenchimento é facilitar a correspondência dos pares OD à distribuição espacial das UEA. O mapeamento desta divisão está na Figura 6.25.

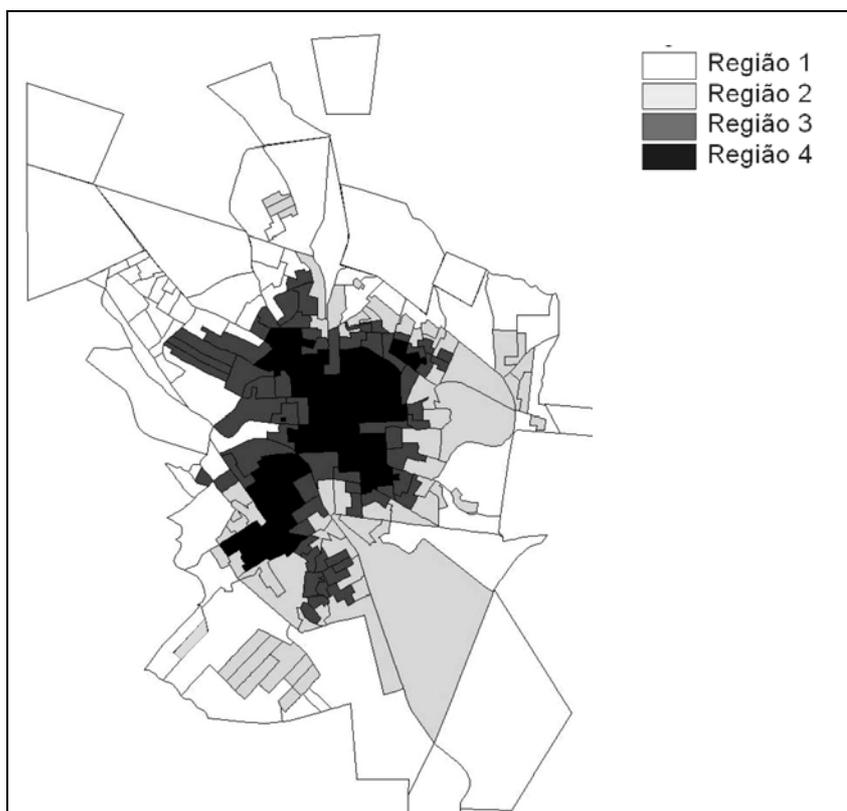


Figura 6.25 – Divisão das UEA em regiões conforme a variável *peso_CDB*

A matriz de identificação de erros entre os modelos TP/PC-D e GRAVIT é apresentada na Figura 6.26. Observam-se, em destaque nesta matriz os erros nas viagens intrazonais, os quais vêm ao encontro da análise anterior, na qual apontava uma maior porcentagem de erros no modelo TP/PC-D nas estimativas das viagens intrazonais com relação aos modelos gravitacionais (ver Tabela 6.10). Também se observa em destaque um alinhamento de erros nas viagens entre regiões adjacentes, provavelmente porque este modelo prioriza as viagens com menor distância e, logo, superestima as viagens entre UEAs próximas entre si.

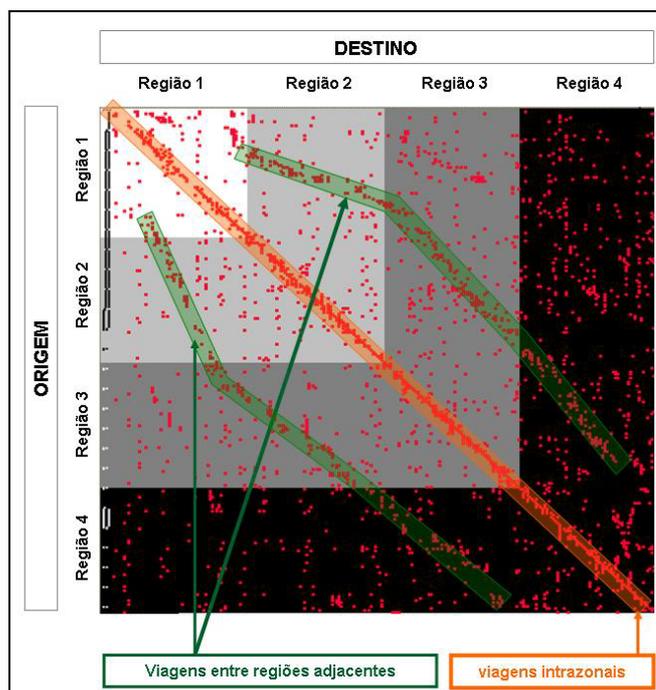


Figura 6.26 – Matriz de identificação de erros *outliers* dos modelos TP/PC-D x GRAVIT

Também nesta etapa foi feita uma alocação de fluxo dos pares OD, porém agora somente com os valores *outliers*. Para alocar as rotas foi usado o mesmo método anterior. Tudo ou Nada (*All or Nothing*) do programa TransCAD. O objetivo nesta etapa também é mostrar graficamente as estimativas de fluxo do Modelo GDA e do modelo gravitacional, porém considerando apenas os pares OD *outliers*, pois o intuito é analisar a grandeza das diferenças entre estes pares.

A alocação de fluxo dos pares OD *outliers* dos modelos TP/PC-D x GRAVIT está ilustrada na Figura 6.27. A comparação entre os valores médios das estimativas de fluxo referentes aos pares OD *outliers* está na Tabela 6.11. Observa-se que no modelo TP/PC-D a diferença entre o fluxo de viagens nos pares OD *outliers* é, aproximadamente, seis vezes maior (510%) do que no modelo GRAVIT.

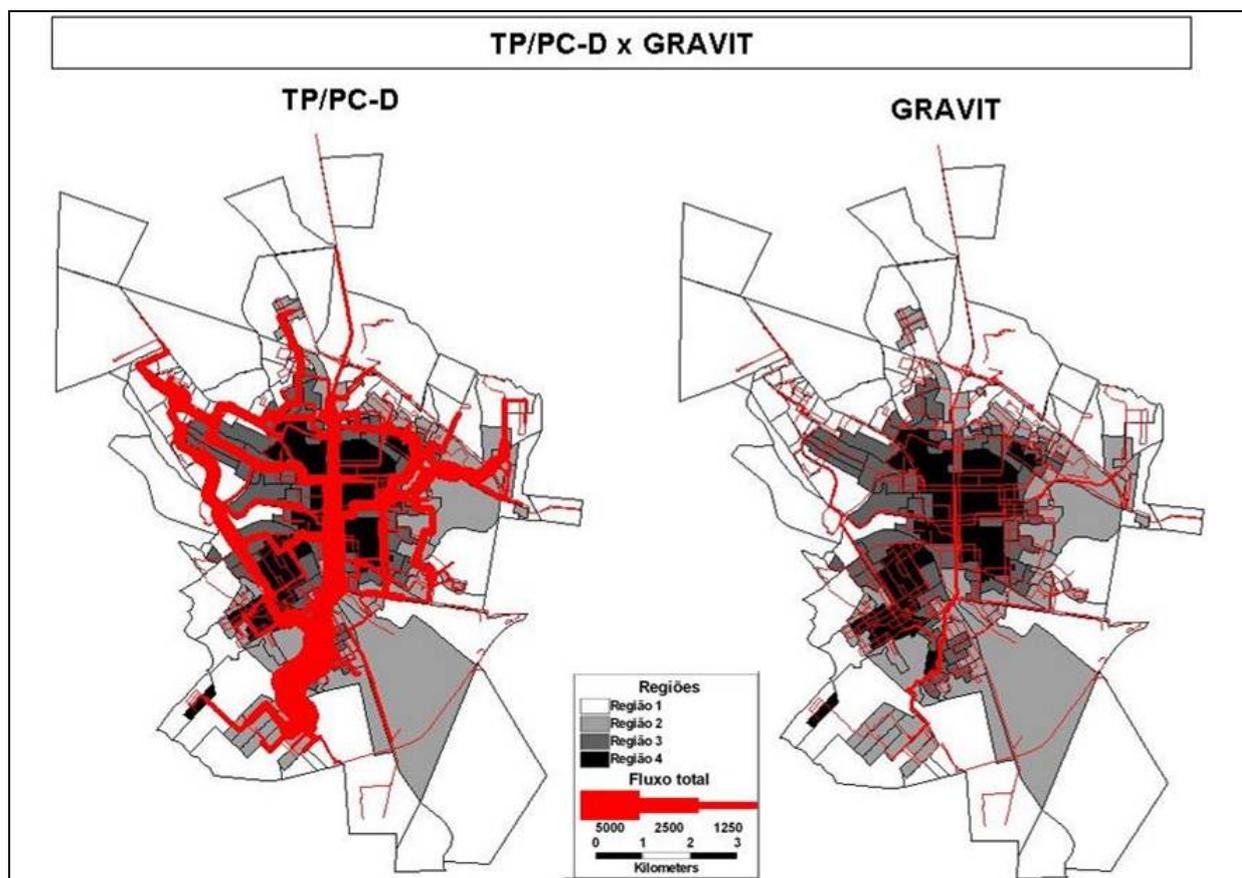


Figura 6.27 – Alocação de fluxo dos pares OD *outliers* dos modelos TP/PC-D x GRAVIT

Tabela 6.11 – Comparação dos fluxos dos pares OD *outliers* dos modelos TP/PC-D x GRAVIT

Modelo	Média dos fluxos de viagem dos pares OD <i>outliers</i>	% em relação ao GRAVIT
TP/PC-D	535	510%
GRAVIT	105	---

A matriz de identificação de erros entre os modelos AP-SD e GRAVIT está presente na Figura 6.28. Ao contrário da matriz anterior, na qual foram notados padrões de alinhamentos de erros, nesta matriz é ilustrado um padrão de distribuição uniforme. Uma possível justificativa para o modelo TP/PC-D apresentar padrões de alinhamentos de erros, e o AP-SD não, é a consideração da distância de viagem na escolha dos destinos, presente apenas no TP/PC-D. Logo, como no AP-SD não são priorizados os destinos mais próximos da origem do deslocamento, os erros distribuem-se mais uniformemente na matriz do que no TP/PC-D.

A alocação de fluxo dos pares OD *outliers* dos modelos AP-SD x GRAVIT está presente na Figura 6.29. A comparação entre as estimativas de fluxo dos pares OD *outliers* dos modelos está na Tabela 6.12. Percebe-se que o modelo AP-SD superestima os valores

de fluxo de tráfego três vezes mais (213%) do que o modelo GRAVIT. Esta diferença tem uma grandeza menor do que a encontrada no modelo TP/PC-D, que é de seis vezes.

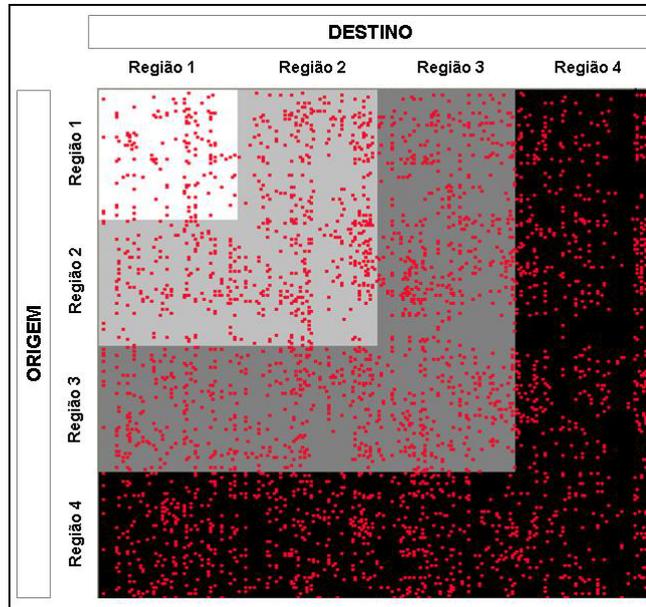


Figura 6.28 – Matriz de identificação de erros *outliers* dos modelos AP-SD x GRAVIT

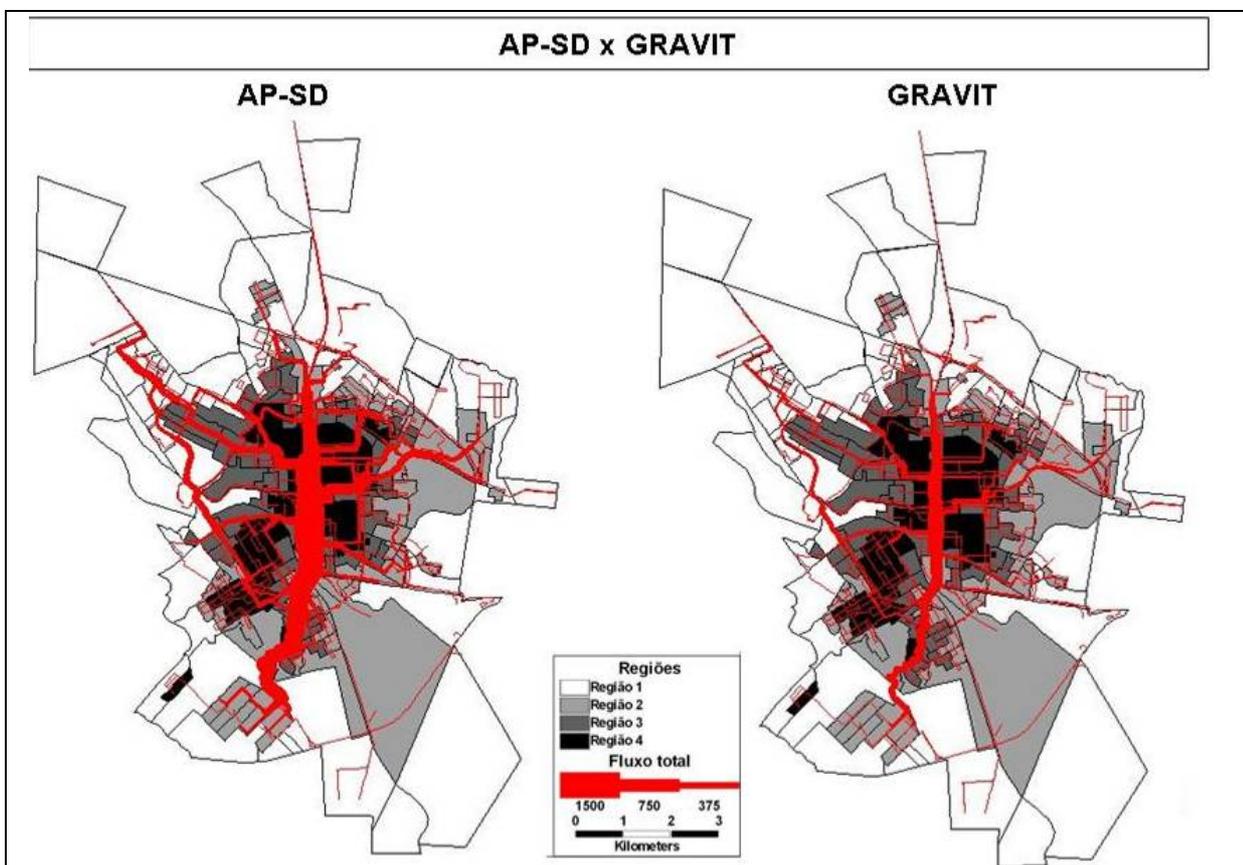
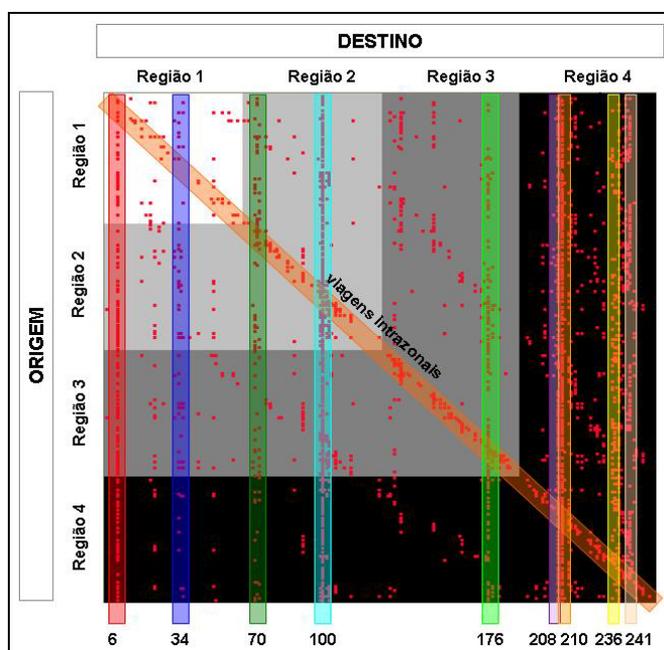


Figura 6.29 – Alocação de fluxo dos pares OD *outliers* dos modelos AP-SD x GRAVIT

Tabela 6.12 – Comparação dos fluxos dos pares OD *outliers*: AP-SD x GRAVIT

Modelo	Média dos fluxos dos pares OD <i>outliers</i>	% em relação ao GRAVIT
AP-SD	132	213%
GRAVIT	62	---

Quanto às análises comparativas dos modelos GDA e *UTPS*, nas matrizes de identificação de erros foram encontradas algumas UEAs com maior quantidade de valores *outliers*, as quais estão em destaque na matriz contida nas Figuras 6.30 e 6.31. A localização destas UEAs pode ser visualizada na Figura 6.32. Um possível motivo para que estas UEAs estejam associadas a uma maior quantidade de erros é de que nelas existe uma forte atração de viagens resultantes de pólos geradores de tráfego, acessos à rodovia e zona central. Nota-se também que estas UEAs estão próximas aos pontos de conflito no sistema viário, visualizados na Figura 4.8. Como o modelo *UTPS* é um modelo gravitacional restringido no vetor Atração, divergências na estimativa de viagens para estas UEAs são maiores neste modelo do que no modelo GRAVIT, que é duplamente restringido (restrição na Produção e na Atração).

Figura 6.30 – Matrizes de identificação de erros *outliers* dos modelos TP/PC – D x *UTPS*

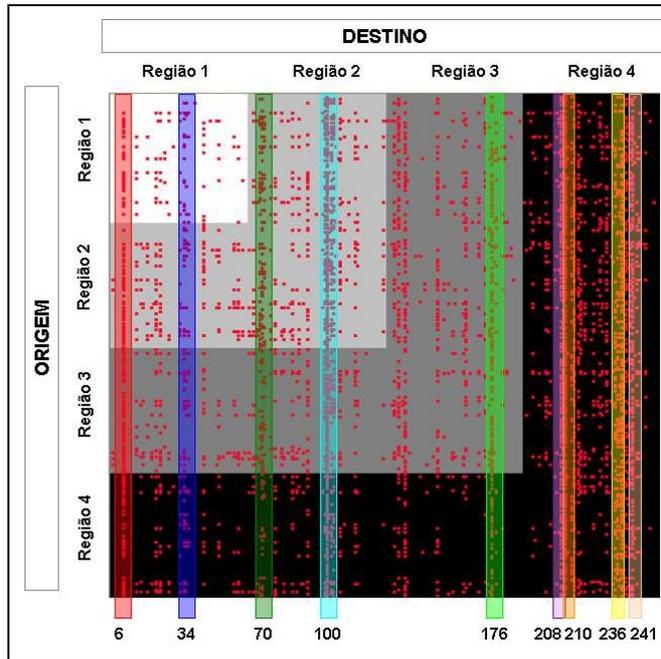


Figura 6.31 – Matrizes de identificação de erros outliers dos modelos AP-SD x UTPS

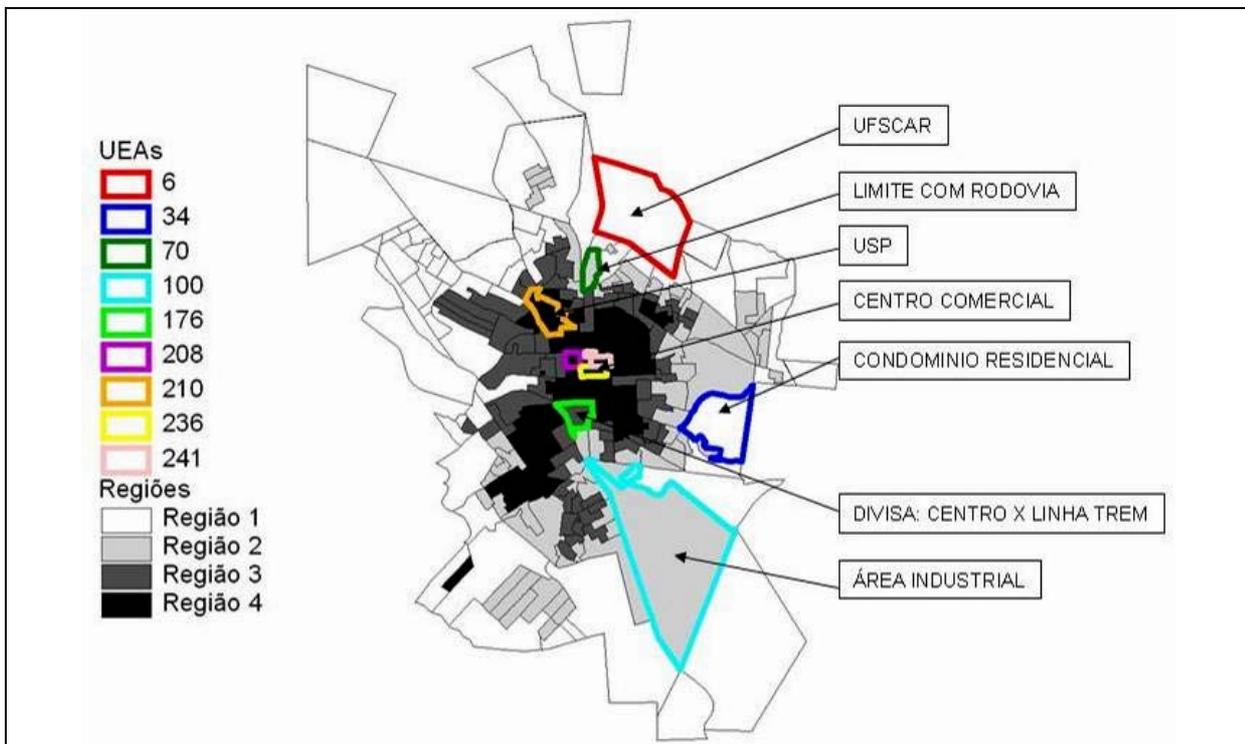


Figura 6.32 – Localização das UEA com maior quantidade de erros outliers dos modelos TP/PC -D x UTPS e AP-SD x UTPS

A alocação de fluxo dos pares OD *outliers* da matriz de identificação de erros dos modelos TP/PC-D e AP-SD em relação ao modelo *UTPS* está presente na Figura 6.33 e na Figura 6.34, respectivamente. A comparação entre as estimativas de fluxo médio dos pares OD *outliers* dos modelos TP/PC-D e AP-SD com relação ao modelo *UTPS* está na Tabela 6.13 e na Tabela 6.14. Observa-se que os valores *outliers* dos modelos GDA possuem maiores diferenças com relação ao *UTPS* do que com o GRAVIT. Os pares OD *outliers* do TP/PC-D tem uma estimativa de viagem dezessete vezes maior (1585%) do que o *UTPS*, já os pares OD *outliers* do AP-SD tem uma estimativa dez vezes maior (906%).

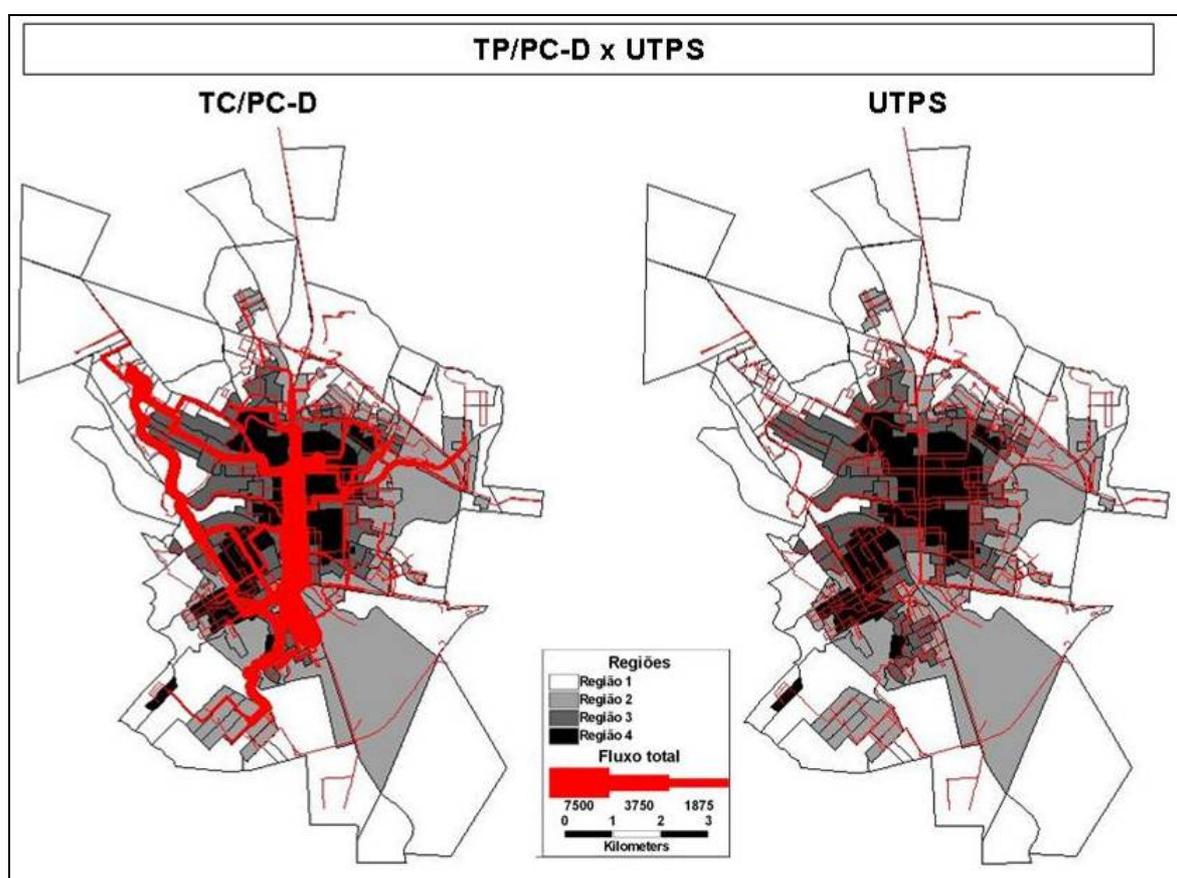


Figura 6.33 – Alocação de fluxo dos pares OD *outliers* dos modelos TP/PC-D x UTPS

Tabela 6.13 – Comparação da média dos fluxos de viagem dos pares OD *outliers*: TP/PC-D x UTPS

Modelo	Média dos fluxos de viagem dos pares OD <i>outliers</i>	% em relação ao UTPS
TP/PC-D	650	1585%
UTPS	41	---

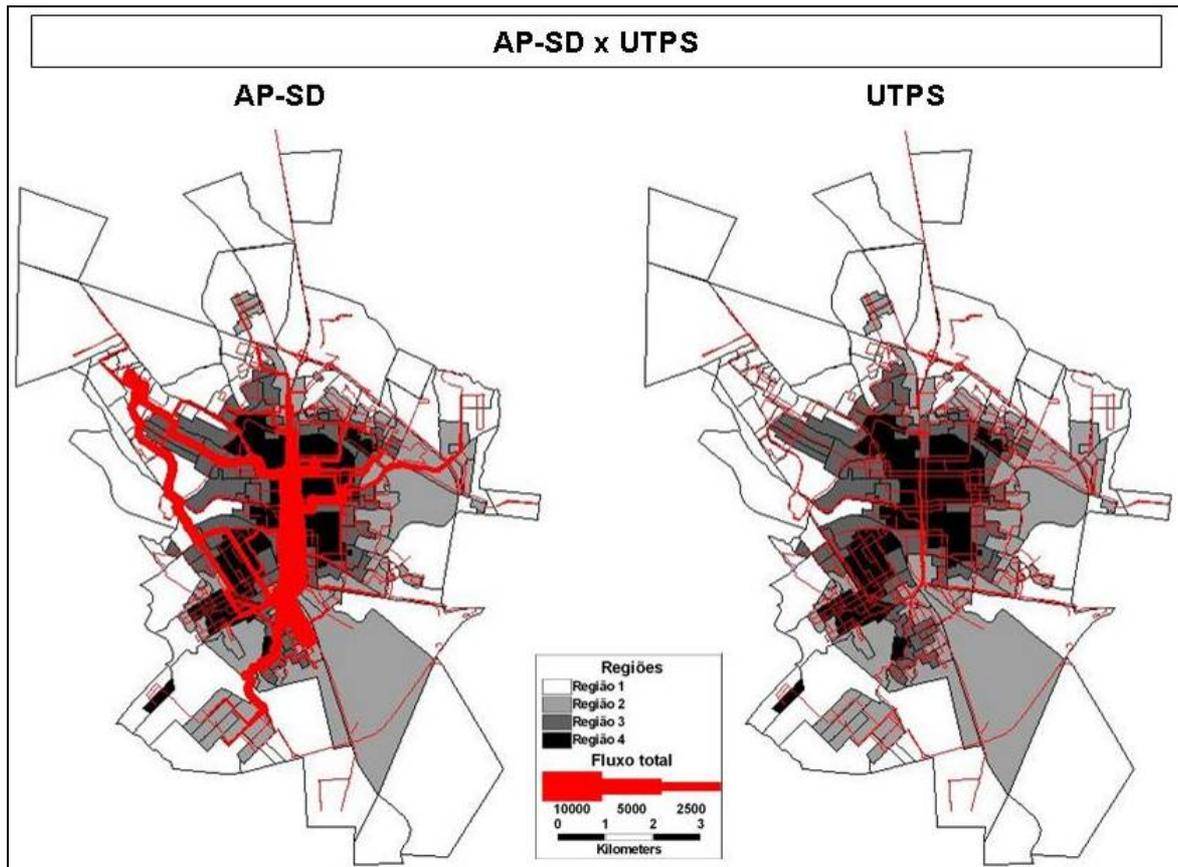


Figura 6.34 – Alocação de fluxo dos valores *outliers* dos modelos: AP-SD x UTPS

Tabela 6.14 – Comparação da média dos fluxos dos pares OD *outliers*: AP-SD x UTPS

Modelo	Média dos fluxos dos pares OD <i>outliers</i>	% em relação ao UTPS
AP-SD	743	906%
UTPS	82	---

Na Tabela 6.15 está a contagem total de pares OD com *outliers* na estimativa de fluxo de tráfego na análise comparativa entre os modelos GDA e gravitacionais. Observa-se que a quantidade de pares OD é semelhante entre os modelos. Porém, como discutido anteriormente, a diferença reside na média de fluxos estimados por estes pares OD *outliers* para cada modelo.

Tabela 6.15 – Quantidade de rotas com *outliers* na estimativa de fluxo de tráfego – Comparação entre as estimativas do modelo gravitacional com as dos modelos GDA

Modelo	GRAVIT		UTPS	
	#	%	#	%
TP/PC-D	2520	4%	2118	3%
AP-SD	2509	4%	3749	6%

6.4.2.3 Análise da distribuição de viagens entre os pares OD

Na distribuição de viagens entre os pares OD, nota-se que apenas alguns pares detêm a maior quantidade de viagem, ao contrário dos demais pares OD, que estão associados a uma baixa quantidade de viagens. A relação entre quantidade de viagens e de pares OD descreve uma curva de função potência decrescente. Estas relações podem ser observadas nos gráficos das Figuras 6,35 e 6,36.

Visualiza-se nos gráficos a curva correspondente à distribuição das viagens nos pares OD da matriz e uma linha com a distribuição associada à função potência, a qual é descrita a partir de uma equação e de um coeficiente de determinação R^2 em relação à esta curva. Nas equações, nota-se que o valor do expoente da função potência é próximo de -3,0. Estes valores de expoente da função potência são semelhantes aos valores absolutos de α encontrados na distribuição das redes livres de escala, as quais apresentam uma função potência cujo expoente α varia, em módulo, entre 2 e 3 (ver seção 2.4 - Teorias alternativas para distribuição de viagens). Os expoentes da função potência de cada matriz estão na Tabela 6.16.

A semelhança entre as distribuições das viagens nos pares OD e a estrutura das redes livres de escala é determinada pelas características da função potência e pelo valor do expoente. Esta semelhança é observada não apenas nos modelos GDA, que aplicam a estrutura das redes sem escala na distribuição de viagens durante a simulação, mas também nos modelos gravitacionais e nos resultados observados na pesquisa OD. Logo, é possível deduzir que o uso das redes livres de escala no mecanismo da distribuição de viagens é uma analogia alternativo à força gravitacional que mostra obter resultados semelhantes à distribuição de viagens dos resultados estimados pelos modelo gravitacional e nos resultados observados em São Carlos (SP).

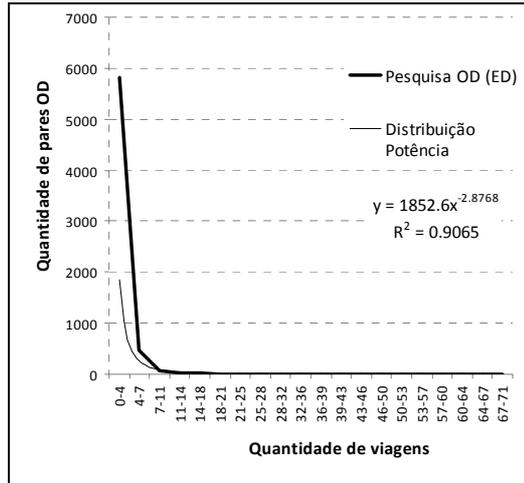


Figura 6.35 – Distribuição das viagens nos pares OD da matriz da amostra ED

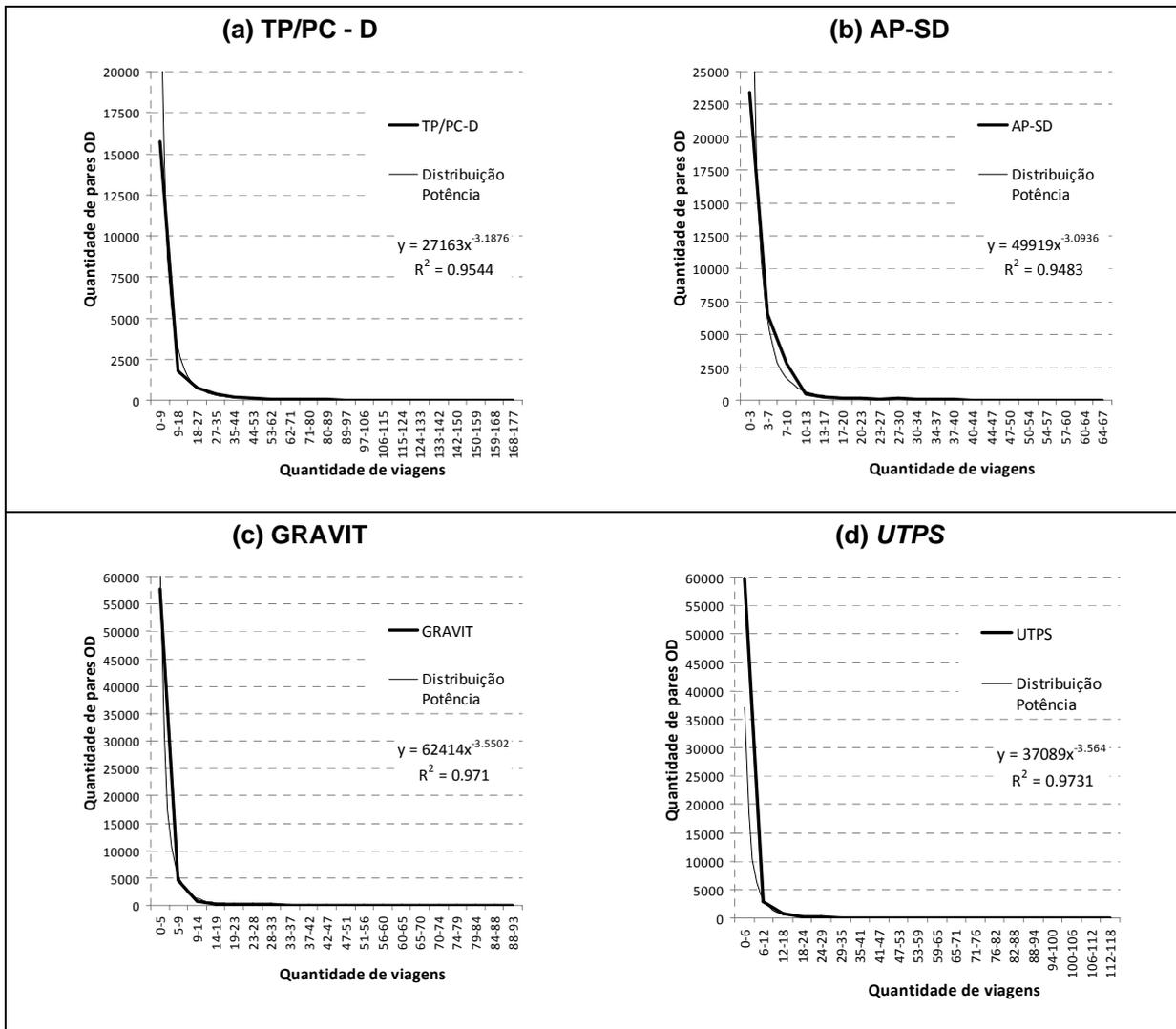


Figura 6.36 – Distribuição das viagens nos pares OD da matriz dos modelos: (a) TP/PC-D; (b) AP-SD; (c) GRAVIT; (d) UTPS

Tabela 6.16 – Características da distribuição das viagens nos pares OD das matrizes

<i>Matriz</i>	<i>Número de pares OD</i>	<i>Expoente da função potência</i>
pesquisa OD (ED)	6 410	-2,88
TP/PC-D	19 271	-3,19
AP-SD	34 197	-3,09
GRAVIT	27 403	-3,55
UTPS	30 300	-3,56

6.5 Avaliação geral dos resultados

De acordo com os resultados e as análises apresentadas nas seções anteriores observam-se os seguintes pontos relevantes ao trabalho de pesquisa:

- (i) Nota-se que, na maior parte das análises, as estimativas obtidas pelos modelos GDA são próximas às dos modelos gravitacionais. As diferenças encontradas entre o Modelo GDA e o modelo gravitacional são semelhantes às encontradas em estudos que comparam as estimativas dos modelos alternativos com as do modelo gravitacional. Entretanto, numericamente, os modelos gravitacionais possuem estimativas mais próximas dos resultados observados do que os modelos GDA.
- (ii) O modelo TP/PC-D foi o que apresentou os melhores resultados nas análises da distribuição das distâncias de viagem e da matriz PA dentre as configurações do modelo GDA. Entretanto, devido à superestimativa das viagens intrazonais, este modelo apresentou os piores resultados nas análises relativa às das matrizes OD.
- (iii) Contudo, avaliando os resultados como um todo, é possível considerar o TP/PC-D como o modelo GDA que obteve estimativas mais próximas dos resultados observados e mais próximas dos modelos gravitacionais. Estas considerações colocam o TP/PC-D como a melhor configuração do Modelo GDA para a estimativa de geração e distribuição de viagens.

Um resumo dos resultados de cada etapa de análise encontra-se nas Tabelas 6.17 a 6.19. Os melhores resultados estão em destaque com preenchimento cinza.

Tabela 6.17 – Resumo dos resultados da análise do TLD

Modelos	Análise da distribuição das distâncias de viagens (TLD)	
	Comparação do TLD entre modelos GDA e resultados observados	Comparação do TLD entre modelos GDA e gravitacionais
TP/PC-D	TC = 75,04%	TC = 74,93 (GRAVIT)
AP-SD	TC = 57,33%	TC = 70,24 (UTPS)

Tabela 6.18 – Resumo dos resultados da análise das matrizes PA

Modelos	Análise das matrizes Produção – Atração		
	Teste χ^2 e Erro Quadrático Médio		Análise do Intervalo de Variação (IV)
	χ^2	EQM	%UEA com resultado de validação diferente
TP/PC-D	0,5% (UTPS)	2,9% (UTPS)	17% (UTPS)
AP-SD	0,6% (UTPS)	4,8% (UTPS)	19% (UTPS)

Tabela 6.19 – Resumo dos resultados da análise das matrizes OD

Modelos	Análise das matrizes Origem - Destino			
	Análise das viagens intrazonais		Avaliação dos pares OD	
	% diferença em relação aos resultados observados	%ERRO em relação aos modelos gravitacionais	%ERRO na estimativa de fluxo de tráfego	%Outliers na estimativa de fluxo de tráfego
TP/PC-D	+5,40%	+254% (GRAVIT)	-20% (GRAVIT)	3% (UTPS)
AP-SD	-4,20%	-20% (GRAVIT)	+6% (GRAVIT)	4% (GRAVIT)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo é efetuada uma discussão geral sobre o desenvolvimento desta tese. O problema de pesquisa definido na Introdução é retomado, cujas questões são respondidas com base nos resultados do trabalho. Por fim, são apresentadas sugestões para pesquisas futuras que possam dar continuidade a esta investigação.

7.1 Discussão geral sobre o trabalho

A proposta de um modelo baseado em agentes para a estimativa da geração e da distribuição de viagens intraurbanas foi o objetivo principal deste trabalho. Por meio do desenvolvimento, da aplicação e da análise dos resultados deste modelo foi possível levantar subsídios para responder as perguntas da pesquisa, as quais foram definidas no primeiro capítulo. A hipótese deste trabalho foi que as perguntas da pesquisa têm uma resposta afirmativa.

Na primeira pergunta é indagada a possibilidade de estimar a geração e a distribuição de viagens intraurbanas apenas por meio de informações acerca do morador e do uso do solo, sem usar dados provenientes das pesquisas de tráfego. Por meio da aplicação do Modelo GDA na cidade de São Carlos (SP) é possível aceitar esta hipótese, pois a análise dos resultados desta aplicação mostra que as estimativas obtidas pelo Modelo GDA atingem valores semelhantes aos resultados observados, sobretudo na análise da distribuição das distâncias de viagem (gráficos TLD).

Contudo, destaca-se a dificuldade em reduzir a quantidade de dados de entrada em um modelo de estimativa da geração e distribuição de viagens. No caso dos dados do Modelo GDA, os quais estavam restritos aos atributos do morador e do uso do solo, a seleção do mínimo possível de variáveis suficientes para caracterizar a produção e a atração de viagens e que possuíssem uma relação causal com o processo de escolha individual foi o principal desafio para o desenvolvimento deste modelo. Por outro lado, isto se reverte em uma vantagem do Modelo GDA sobre os modelos gravitacionais em termos de operacionalidade, conforme é visto na discussão acerca das perguntas subsequentes.

Na segunda pergunta da pesquisa é questionado se o modelo de simulação multiagente, que estima a geração e a distribuição de viagens a partir das características do morador e do uso do solo, pode ter uma estimativa tão acurada quanto à dos modelos gravitacionais. Na análise comparativa entre os resultados do Modelo GDA e dos modelos gravitacionais é possível constatar que as estimativas são similares entre si. Entretanto, numericamente, os modelos gravitacionais atingem uma estimativa mais próxima dos resultados observados do que a do Modelo GDA. Por outro lado, conclui-se que o Modelo GDA apresenta vantagens com relação ao modelo gravitacional, pois são utilizados dados acerca do morador e do uso do solo, os quais são de fácil coleta e atualização periódica, não necessitando de dados provenientes de pesquisas de tráfego, geralmente onerosos e de difícil aquisição. Logo, o modelo GDA é uma alternativa viável para estimar a geração e distribuição de viagens quando não se dispõe de dados acerca das condições de tráfego intraurbano.

A terceira pergunta de pesquisa está relacionada aos critérios de distribuição de viagens adotados pelos modelos de estimativa de demanda. Neste caso, é investigada a possível aplicação de uma analogia alternativa à força gravitacional para determinar esta distribuição. Essa hipótese é confirmada nesta tese no momento em que se aplica os conceitos das redes livres de escala e do *path dependence* para configurar a simulação da distribuição de viagens no Modelo GDA, pois se observa que a estimativa de distribuição de viagens obtida neste modelo é semelhante à do modelo gravitacional.

Ademais, nota-se que é possível vincular os conceitos de redes livres de escala e de *path dependence* com o comportamento dos moradores e dos elementos urbanos que influenciam na distribuição de viagens, como, por exemplo, o vínculo da estrutura das redes com o sistema de transportes, a evolução urbana com a vocação de determinados usos do solo em certas áreas da cidade. Logo, ao incorporar esses conceitos na simulação multiagente, o caráter multidisciplinar associado à distribuição de viagens é considerado no Modelo GDA, permitindo que a complexidade do fenômeno da demanda em transportes seja retratada neste modelo de forma mais coerente com o que se observa na realidade do que no modelo gravitacional.

Apesar de também ser possível estabelecer relações entre os componentes do modelo gravitacional e os elementos urbanos, estas associações carecem de um maior detalhamento quanto ao comportamento destes componentes. Assim, o modelo de distribuição de viagens baseado na força gravitacional não possibilita retratar de modo desagregado a influência simultânea das forças atuantes na distribuição de viagens, como, por exemplo, a influência das atividades diárias, das responsabilidades no contexto familiar

e da atração dos PGTs na durante o proceso de escolha do destino de viagem pelo morador.

Apesar de não terem sido encontradas publicações que abordem especificamente a teoria das redes livres de escala no estudo da demanda de viagens, semelhante ao que foi desenvolvido nesta tese, observa-se que o vínculo entre a teoria das redes complexas e o planejamento de transporte vem sendo abordado em artigos publicados recentemente, o que indica um crescente interesse na pesquisa deste tema. Alguns exemplos de trabalhos com este enfoque são encontrados em Levinson e Huangy (2010), Parthasarathi, Hochmair e Levinson (2010a; 2010b), Parthasarathi e Levinson (2010), Rezayan *et al*, (2010) e Barthélemy (2011).

No que diz respeito à estrutura do Modelo GDA, observa-se que, no processo da distribuição de viagens, um grupo de domicílios é selecionado a cada iteração. As informações da base de dados deste grupo são processadas e, por fim, determina-se a distribuição de viagens para os moradores daquele grupo de domicílios. Entretanto, não há uma relação causal entre a fração de domicílios selecionado a cada iteração e o fenômeno de distribuição de viagens. Logo, este processo iterativo influencia arbitrariamente os resultados do modelo, cujos efeitos não há conhecimento, nem controle estatístico. Este problema, inerente aos modelos de simulação iterativa, já foi levantado por Crooks, Castle e Batty (2007) e ainda carece investigações mais aprofundadas.

Quanto à execução deste trabalho, destaca-se que, para desenvolver um modelo que aborda a geração e distribuição de viagens sob uma análise *bottom-up* por meio de uma simulação multiagente, é necessário ter uma base de dados suficientemente desagregados para permitir o processo de validação. Logo, observa-se que o fato de ter disponível uma pesquisa OD com elevado nível de desagregação de dados foi decisivo para viabilizar a execução da pesquisa desta tese, pois por meio destes dados em que se foi possível a validação do Modelo GDA.

Por fim, com o objetivo de melhor ajustar os dados observados na cidade de São Carlos (SP) ao Modelo GDA, foram propostos métodos de tratamento dos dados específicos para esta aplicação, como o processo de expansão da matriz PA e de extração de dados referentes ao uso do solo. Estes dois processos exemplificam o esforço em adequar a estrutura geral de um modelo às restrições impostas à realidade da aplicação prática. Apesar dessas particularidades serem referentes apenas à aplicação do Modelo GDA na cidade de São Carlos (SP), é possível que se encontre situações semelhantes ao aplicar o Modelo GDA em outra área de estudo.

7.2 Sugestões para próximos trabalhos

As sugestões para dar continuidade a este trabalho enfocam em melhoramentos na estrutura do Modelo GDA e na sua aplicação em demais áreas de estudo.

Quanto à estrutura, sugere-se um maior aprofundamento sobre a aplicabilidade da teoria das redes livre de escala na distribuição de viagens, sobretudo para a definição de parâmetros de medida da rede de distribuição, como conectividade e acessibilidade. Também é conveniente agregar as etapas de repartição modal e alocação de fluxo no Modelo GDA e, conseqüentemente, estudar o uso das redes livres de escala nestas etapas.

Outro enfoque pertinente para aprimorar a estrutura do Modelo GDA é explorar simultaneamente o tempo e o espaço nas simulações. Logo, a partir da simulação multiagente, se propõe o estudo da influência dos fenômenos de curto prazo, como viagens diárias e alocação de fluxo, nos fenômenos de longo prazo, como mudança do uso do solo e impactos ambientais. Considerar estimativas futuras de mudanças no uso do solo e de perfil sociodemográfico da população residente também são interessantes para prever o impacto na demanda de viagens. Outro aspecto que alia o espaço e o tempo na estimativa de demanda é a elaboração de matrizes OD dinâmicas, ou seja, matrizes que possibilitam estimar o fluxo de viagens de acordo com o horário do dia, contemplando as diferenças entre as horas de pico da manhã e da tarde.

Quanto à aplicação do Modelo GDA, sugere-se um estudo sobre o ajuste da dimensão da área de abrangência da UEA, fazendo com que sejam obtidos dados de forma mais homogênea possível dentro desta área. Logo, para fazer este ajuste é necessário que se equilibrem as características da demanda de transportes a ser investigado, o nível de agregação dos dados de entrada e os resultados esperados pelo modelo. No caso deste trabalho, por exemplo, o ideal era que as UEAs apresentassem, além do número de domicílios, dados sobre o tipo de uso do solo de forma homogênea dentro da área delimitada.

Também acerca da aplicação deste modelo, sugere-se um maior detalhamento para caracterizar a população, considerando outros atributos além da idade dos moradores, como, por exemplo, o gênero e a renda, pois são atributos que também influenciam na demanda de viagens. Também é interessante contemplar as diferenças na distribuição da idade e do tamanho das famílias em cada UEA, pois esta distribuição não é uniforme. Por exemplo, como se observou na cidade de São Carlos (SP), as áreas centrais têm a população mais idosa e um menor tamanho da família, já nas áreas periféricas, há maior

concentração da população infantil e o tamanho das famílias é maior. Recomenda-se também estimar a geração e de distribuição de viagem por outras atividades além de trabalhar e estudar. Ademais, pode ser feita a estimativa de viagens segregadas por modal, como transporte não-motorizado, público e privado, visando o maior detalhamento dos resultados.

Destaca-se também a possibilidade de aplicar a estrutura do Modelo GDA em outras áreas urbanas. Neste caso, a estrutura fundamental do modelo, descrita no Capítulo 3, se mantém constante, mudando apenas os tipos de dados de entrada e os métodos de tratamento para ajustar o modelo à área de estudo.

Por fim, relacionado também com a aplicabilidade do modelo, um estudo sobre como compor o Modelo GDA em um único programa computacional, preferencialmente em uma plataforma SIG, com interfaces acessíveis aos diferentes perfis de usuários dos órgãos gestores, é interessante para dar continuidade ao trabalho. O resultado desta investigação teria como objetivo o melhor entendimento dos usuários ao aplicar o modelo, facilitando a inserção dos dados de entrada e a exportação dos resultados, além de permitir uma transparência nos mecanismos de funcionamento do modelo e de interpretação dos dados.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Conforme as diretrizes para apresentação de dissertação e tese da USP (USP SIBI, 2009)

ALFASI, N. e PORTUGALI, J. Planning rules for a self-planned city. **Planning Theory**, v.6, n.2, 21-03-2007, p.164-182. 2007.

ALMEIDA, C. M. D., *et al.* Empiricism and Stochastics in Cellular Automaton Modeling of Urban Land Use Dynamics. **CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis - Working Papers**, v.42. 2002.

ANTT. **Glossário de termos e conceitos técnicos dos transportes terrestres**. Agencia Nacional de Transportes Terrestres. 2011. Acesso em: Julho 2011. Disponível em: <https://appweb.antt.gov.br/glossario/>

ARENTZE, T. e TIMMERMANS, H. Multi-Agent Models of Spatial Cognition, Learning and Complex Choice Behavior in Urban Environments. In: PORTUGALI, J. (Ed.). **Complex Artificial Environments**: Springer Berlin Heidelberg, 2007. p.181-200.

ARTHUR, W. B. Path-dependent processes and the emergence of macro-structure. **European Journal of Operational Research**, v. 30, p.294-303. 1987.

_____. Urban Systems and Historical Path-Dependence. In: AUSUBEL, J. e HERMAN, R. (Ed.). **Urban systems and Infrastructure**. Washington, D.C: National Academy of Sciences, 1988.

AULD, J. e MOHAMMADIAN, A. Efficient Methodology for Generating Synthetic Populations with Multiple Control Levels. **Journal of the Transportation Research Board.**, v.2175, p.138-147. 2010.

AUTODESK. **AutoCAD**. Software. 1 CD-ROM. 2007.

BANDINI, S., MANZONI, S. e VIZZARI, G. Agent Based Modeling and Simulation: An Informatics Perspective. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation** v.12, n.4. 2009.

BARABASI, A.-L. **Linked - The new science of networks**. Cambridge: Perseu Publishing. 2002

BARABASI, A.-L. e ALBERT, R. Emergence of Scaling in Random Networks. **Science**, v.286, n.5439, p.509-512. 1999.

BARABASI, A.-L. e BONABEAU, E. Scale-Free Networks. **Scientific American**, v.288, p.60-69. 2003.

BARTHÉLEMY, M. Spatial networks. **Physics Reports**, v.499, p.1-101. 2011.

BATTY, M. Urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended cellular automata. **Environment and Planning A**, v.30, p.1943-1967. 1998.

BATTY, M. e JIANG, B. Multi-Agent Simulation: New Approaches to Exploring Space-Time Dynamics within GIS. **CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis - Working Papers**, n.10. 1999.

BAZZAN, A. L. C. e KLÜGL, F. Sistemas Inteligentes de Transporte e Tráfego: uma Abordagem de Tecnologia da Informação. **Anais das Jornadas de Atualização em Informática**. 2007

BECKER, G. S. A Theory of Social Interaction. **Journal of Political Economy**, v.82, n.6, p. pp. 1063-1093. 1974.

_____. **A treatise on the family**. : Harvard University Press. 1993

BECKMAN, R. J., BAGGERLY, K. A. e MCKAY, M. D. Creating synthetic baseline populations. **Transportation Research A**, v.30, n. 6, p. 415-429. 1996.

BEN-AKIVA, M. e LERMAN, S. R. **Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand**. Cambridge: The MIT Press. 1985

BEN-NAIM, E., FRAUENFELDER, H. e TOROCZKAI, Z. **Complex Networks**: Springer, Berlin Heidelberg. 2004 (Lecture Notes in Physics)

BENENSON, I., ARONOVICH, S. e NOAM, S. Let's talk objects: generic methodology for urban high-resolution simulation. **Computers, Environment and Urban Systems**, v.29, p.425-453. 2005.

BERLING-WOLFF, S. e WU, J. Modeling urban landscape dynamics: A review. **Ecological Research** v.19, p.119-129. 2004.

BERNHARDT, K. L. S. Agent-Based Modeling in Transportation. In: TRB (Ed.). **Artificial Intelligence in Transportation: Information for Application - EC-113**, 2007.

BESUSSI, E., CECCHINI, A. e RINALDI, E. The diffused city of the italian north-east identification of urban dynamics usin cellular automata urban models. **Comput., Environ. and Urban Systems**, v.22, n.5, p.497-523,. 1998.

BIANCONI, G. e BARABASI, A.-L. Competition and multiscaling in evolving networks. **Europhysics Letters**, v.54 n.4, p.436-442. 2001.

BOAVENTURA_NETTO, P. O. **Teoria e Modelos de Grafos**. São Paulo: Edgard Blücher. 1979

BOWMAN, J. L. e ROUSSEAU, G. **Validation of Atlanta, Georgia, Regional Commission Population Synthesizer**. Transportation Research Board Conference Proceedings 42, 2006. p.

BRASIL. **Anuário Estatístico Denatran**. Ministério das Cidades. 2007

_____. **Anuário Estatístico Denatran**. Ministério das Cidades. 2009. Acesso em: jul 2010. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>

BRUTON, M. J. **Introdução ao Planejamento dos Transportes**. Rio de Janeiro: Interciência. 1979

BTE. **Urban Transport Models: a review**. Bureau of Transport Economics. Australia. 1998. (Workpaper 39)

CALIPER. **TransCAD 4.8 - Transportation GIS Software** Software. 1 CD-ROM. 2005a.

_____. **TransCAD Transportation GIS Software - Travel Demand Modeling with TransCAD 4.8. User Guide**. 2005b.

CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M. V. e MEDEIROS, J. S. D. Representações Computacionais do Espaço: Um Diálogo entre a Geografia e a Ciência da Geoinformação. **Divisão de Processamento de Imagens, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI/INPE)**. 2000.

CECCHINI, A. Urban modelling by means of cellular automata: generalised automata with the help on-line (AUGH) model. **Environment and Planning B: Planning & Design**, v.23, n.6, p.721-732. 1996.

CÉSARIS, L. E. U. D. **Reconceitualizando o Institucionalismo Histórico: path dependence, agência e mudança institucional**. (Tese de Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CHANG, J. S. Models of the Relationship between Transport and Land-use: A Review. **Transport Reviews**, v.26, n.3, p.325-350. 2006.

CHAPIN, F. S. Free Time Activities and Quality of Urban Life. **Journal of the American Planning Association**, v.37, n.6, p.411 - 417. 1971.

CLARK_LABS. **Idrisi Andes**. Software. 1 CD-ROM. 2007.

COHEN, R. e HAVLIN, S. **Complex Networks: Structure, Robustness and Function**: Cambridge University Press. 2010

CONOVER, W. J. **Practical Nonparametric Statistics**. New York: Jonh Wiley 1999

CONTE, R., GILBERT, N. e SICHMAN, J. S. MAS and Social Simulation: A Suitable Commitment. In: SICHMAN, J. S., CONTE, R. e GILBERT, N. (Ed.). **Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation**: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998. p.1 - 9.

CRIMESTAT. **Chapter 14 - Trip Distribution**. CrimeStat Documentation. 2005. Acesso em: Mar 2011. Disponível em: <http://www.icpsr.umich.edu/CrimeStat/files/CrimeStatChapter.14.pdf>

CROOKS, A., CASTLE, C. e BATTY, M. **Key Challenges in Agent-Based Modelling for Geo-Spatial Simulation**. CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis. Paper 121 - Sept 2007.

D'INVERNO, M. e LUCK, M. **Understanding Agent Systems**. Berlin: Springer-Verlag. 1998

DAMACEANU, R.-C. An agent-based computational study of wealth distribution in function of resource growth interval using NetLogo. **Applied Mathematics and Computation**, v.201, p.371-377. 2008.

DHINGRA, S. L. e SHRIVASTAVA, P. Application of Advanced Techniques to Urban Transportation Mobility Planning. **International conference on modeling and management in transportation**. Poznan - Polônia Cracow University of Technology. 1999

DIAPPI, L. e BOLCHI, P. Smith's rent gap theory and local real estate dynamics: A multi-agent model. **Computers, Environment and Urban Systems** v.32, p. 6-18. 2008.

DNIT. **Manual de estudos de tráfego**. DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro. 2006a

_____. **Manual de estudos do tráfego**. Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Coordenação de Estudos e Pesquisa, Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2006b

DRUCK, S., *et al.* **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina - DF: Embrapa. 2004

ECHENIQUE, M. **Modelos Matemáticos de la Estructura Espacial Urbana**. Buenos Aires: Ediciones Siap. 1975

ERDŐS, P. e RÉNYI, A. On random graphs. **Publ. Math. Debrecen**, v.6, p.290-297. 1959.

ESRI. **ArcView GIS 3.3**. Software. 1 CD-ROM. 2002.

FLÖTTERÖD, G., CHEN, Y. e NAGEL, K. Behavioral calibration of a large-scale travel behavior microsimulation. **TRB2011**. 2010

FONSECA_JUNIOR, E. S. **Glossário - Cartografia**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia dos Transportes. 2011. Acesso em: 13 jun 2011. Disponível em: <http://www.ptr.poli.usp.br/ptr/site-ant/Cursos/SensoriamentoRemoto/cartografia/gloss.htm>

FRASERA, E., *et al.* Bottom up and top down: Analysis of participatory processes for sustainability indicator identification as a pathway to community empowerment and sustainable environmental management. **Journal of Environmental Management** v.78, p.114-127. 2006.

FRIGGE, M., HOAGLIN, D. C. e IGLEWICZ, B. Some Implementations of the Boxplot. **The American Statistician**, v.43, n.1, p.50-54. 1989.

FURTADO, A. L. **Teoria dos Grafos**. Rio de Janeiro: LTC/Editora da USP. 1973

GOOGLE. **Google Earth**. 2011. Acesso em: Ago 2011. Disponível em: <http://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/index.html>

GOOGLE EARTH. **São Carlos**. Loteamento Embaré. Data da imagem: 06/11/2010. Projeção UTM 23s. Latitude Leste 196836, Longitude Oeste 7567794. Ponto de Visão 2,37km 2010a.

_____. **São Carlos**. Loteamento Samambaia e Bosque. Data da imagem: 06/11/2010. Projeção UTM 23s. Latitude Leste 201874,79. Longitude Sul 7568861,50. Ponto de visão: 2,39 km 2010b.

_____. **São Carlos**. Loteamento Dahma. Data da imagem: 06/11/2010. Projeção UTM 23s. Latitude Leste 200449, Longitude Sul 7568100. Ponto de visão: 2,39 km 2010c.

GRIGOLETTI, P. S. **Uma Arquitetura Baseada em Sistemas Multiagentes para Simulações em Geoprocessamento**. Instituto de Informatática - Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS - Brasil, 2007. 132 p.

GUO, J. Y. e BHAT, C. R. Population Synthesis for Microsimulating Travel Behavior. **Journal of the Transportation Research Board**, v.2014, p.92-101. 2007.

HÄGERSTRAND, T. What about people in Regional Science? **Regional Science Association Papers**, v.24, p.7 - 21. 1970.

HUTCHINSON, B. G. **Princípios de Planejamento dos Sistemas de Transporte Urbano**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois. 1979

IBGE. **Agregados por setores censitários dos resultados de universo - 2ª edição**. 2000a. Acesso em: jan 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/defaulttab_agregado.shtm

_____. **Malha de Setor Censitário Urbano 2000**. 2000b. Acesso em: jan 2009. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#TERRIT

_____. **A importância do Censo 2000**. 2005. Acesso em: maio 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/censo/importancia.shtm>

_____. **IBGE Cities@ – São Carlos**. 2009. Acesso em: mai 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=354890&r=2>

JOHNSON, S. **Emergência - a dinâmica de rede em formigas, cérebros, cidades e softwares**. São Paulo: Jorge Zahar 2004

JOVICIC, G. **Activity based travel demand modelling - a literature study**: Danmarks TransportForskning. 2001

KATOSHEVSKI-CAVARI, R. **A Multi-Agent Planning Support System for Assessing Externalities of Urban Form Scenarios: Development and Application in an Israeli Case Study**. Department of Engineering - Urban planning group, Technical University of Eindhoven, Eindhoven, 2007.

LE, Q. B., PARK, S. J. e VLEK, P. L. G. Land Use Dynamic Simulator (LUDAS): A multi-agent system model for simulating spatio-temporal dynamics of coupled human-landscape system 2. Scenario-based application for impact assessment of land-use policies. **Ecological Informatics**, v.5 p.203-221. 2010.

LE, Q. B., *et al.* Land-Use Dynamic Simulator (LUDAS): A multi-agent system model for simulating spatio-temporal dynamics of coupled human-landscape system. I. Structure and theoretical specification. **Ecological Informatics**, p.135-153. 2008.

LEE, D. B. Requiem for large-scale models. **Journal of the American Institute of Planners**, v. 40, n.63-178. 1973.

LEI, Y. e HUI, L. **The Web Integration of the GPS+GPRS+GIS Tracking System and Real-Time Monitoring System Based on MAS**. Web and Wireless Geographical Information Systems W2GIS 2006. 6th International Symposium. . Hong Kong, China,: Springer Berlin / Heidelberg, 2006. 54-65 p.

- LEVINSON, D. e HUANGY, A. A Positive Theory of Network Connectivity. **TRB 2011 Annual Meeting**. 2010
- LI, X., YANG, Q. e LIU, X. Discovering and evaluating urban signatures for simulating compact development using cellular automata. **Landscape and Urban Planning**, Article in Press. 2008.
- LOMBARDO, S., PETRI, M. e ZOTTA, D. Intelligent Gis and Retail Location Dynamics: A Multi Agent System Integrated with ArcGis. In: (Ed.). **Computational Science and Its Applications – ICCSA 2004**: Springer Berlin / Heidelberg, v.3044, 2004. p.1046-1056.
- LOWRY, I. S. **A Model of Metropolis**. Santa Monica, CA: Rand Corporation. 1964
- MAHONEY, J. Path Dependence in Historical Sociology. **Theory and Society**, v.29, n.4, p.507-548. 2000.
- MCFADDEN, D. The behavioral science of transportation. **Transport Policy** v.14, p.269-274. 2007.
- MCNALLY, M. G. **The Four Step Model**. Department of Civil & Environmental Engineering and Institute of Transportation Studies, University of California,. 2000
- MEISTER, K., *et al.* Large-scale agent-based travel demand optimization applied to Switzerland, including mode choice. **12th WCTR**. Lisbon, Portugal 2010
- MELLO, J. C. **Planejamento dos Transportes**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil 1975.
- MICROSOFT. **Microsoft Office Excel**. Software. 1 CD-ROM. 2003.
- MIKHAILOV, A. S. e CLENBUHR, V. **From Cells to Societies**. New York: Springer. 2002
- MIYAMOTO, K., *et al.* Agent-Based Estimation Method of Household Micro-Data for Base Year in Land-Use Microsimulation. **Compendium of the 89th Transportation Research Board Annual Meeting**. 2010a
- _____. An Agent Based Estimation Method of Household Micro-Data including Housing Information for the Base Year in Land-Use Microsimulation. **Selected Proceedings of 12th WCTR'10**. 2010b
- MOECKEL, R., SPIEKERMANN, K. e WEGENER, M. Creating a Synthetic Population. **8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM)**. Sendai, Japan 2003
- NEWMAN, M. E. J. The Structure and Function of Complex Networks. **SIAM REVIEW - Society for Industrial and Applied Mathematics** . , v.45, n.2, p.167-256. 2003.
- NOVAES, A. G. **Modelos em Planejamento Urbano, Regional e de Transportes**. São Paulo: Edgard Blüncher. 1981
- O'SULLIVAN, D. e TORRENS, P. M. Cellular Models of Urban Systems. **CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis - Working Papers** n.22. 2000.
- OMER, I. e PORTUGALI, J. Internal Complexity and Socio-spatial Segregation of Groups in a Self-Organizing City. In: PORTUGALI, J. (Ed.). **Self Organization and the City**. New York: Spring, 1999.

- ORTÚZAR, J. D. e WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**: John Wiley & Sons. 1994
- OTANI, N., SUGIKI, N. e MIYAMOTO, K. **Goodness-of-Fit Evaluation Method for Agent-Based Household Micro-Data Sets Composed of Generalized Attributes**. TRB 2011 Annual Meeting, 2010. p.
- OUREDNIK, A. e DESSEMONTET, P. Interaction maximization end the observed distribution of urban population. **15th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography (ectqg'07)** Montreux, Switzerland 2007
- PARKER, D. C., *et al.* Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review. **Annals of the Association of American Geographers**. 2002.
- PARTHASARATHI, P., HOCHMAIR, H. e LEVINSON, D. Network Structure and Activity Spaces. **TRB 2011 Annual Meeting**. 2010a
- _____. Network Structure and Spatial Structure. **TRB 2011 Annual Meeting**. 2010b
- PARTHASARATHI, P. e LEVINSON, D. Network Structure and Metropolitan Mobility. **TRB 2011 Annual Meeting**. 2010
- PNUD. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**: PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento; IPEA – Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas; FJP – Fundação João Pinheiro, 2003. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/atlas/dl/único/AtlasIDH2000.exe> > 2003.
- PORTALGEO. **Glossário**. 2011. Acesso em: Julho 2011. Disponível em: http://portalgeo.rio.rj.gov.br/mlateral/glossario/index_gloss.htm
- PORTUGALI, J. **Self-Organization and the City**. New York: Springer. 1999
- PUTNAM, S. H. **Integrated Urban Models**. London: Pion Limited. 1983
- RAMOS, R. A. R. e SILVA, A. N. R. Oportunidades e desafios de técnicas emergentes para o planejamento urbano: o caso dos modelos de Cellular Automata. **VII Encontro de utilizadores de informação geográfica**. Lisboa - Portugal Associação dos Utilizadores de Informação Geográfica - USIG. 2002
- RENNARD, J.-P. **Introduction to Cellular automata**. 2000. Acesso em: 03 Set. 2008. Disponível em: <http://www.rennard.org/alife/english/acqb.pdf>
- REZAYAN, H., *et al.* Spatial rules that generate urban patterns: Emergence of the power law in the distribution of axial line length. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.12, p. 317-330. 2010.
- ROCHA, G. R. **Análise de ferramentas computacionais para planejamento estratégico do uso do solo e transportes**. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Transportes - EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- RUSSEL, E. **GIS Extension version 1.0b1**. 2008. Acesso em: 16 Jun 2008. Disponível em: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/4.0/extensions/gis/>
- SAAE. **Levantamento dos hidrômetros em São Carlos - SP**. Arquivo DBD. Georreferenciado em WGS84 - UTM 23s 2007.

SALOMON, I., *et al.* **Sustainable Mobility in Cities: Qualitative and Quantitative Analysis**. Dortmund. 2002

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. São Paulo: Hucitec. 1996

SÃO CARLOS. **Diagnóstico do Plano Diretor de São Carlos**. Plano Diretor de São Carlos. 1 CD-ROM. Arquivo PPT. SMDHU/PMSC. São Carlos 2007a.

_____. **Malha da rede viária urbana**. Prefeitura Municipal de São Carlos. Arquivo DWG. Georreferenciado em: WGS84 - UTM 23s. 2007b.

_____. **Mapeamento do uso do solo**. Prefeitura Municipal de São Carlos. Arquivo DWG. Georreferenciado em: WGS84 - UTM 23s. 2007c.

_____. **Pesquisa Origem-Destino (OD)**. Projeto de pesquisa financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). Número de referência: 04/15843-4. 2007d

SEADE. **Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados**. 2010. Acesso em: fevereiro 2010. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/>

SHEN, Z., CHEN, P. e KAWAKAMI, M. **Shopsim-sc**. NetLogo User Community Models. 2008. Acesso em: 01 Set. 2008. Disponível em: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/community/Shopsim-sc>

SILVA, A. N. R. **Pesquisa Origem-Destino da Cidade de São Carlos**. Relatório. São Carlos. 2008

SILVA, A. N. R., *et al.* **SIG : uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes : uma ferramenta 3 D para análise ambiental urbana, avaliação multicritério, redes neurais artificiais** São Carlos - SP: Ed. dos Autores. 2004

SILVA, E. A. e CLARKE, K. C. Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. **Computers, Environment and Urban Systems** v.26, p.525-552. 2002.

SINGH, M. P. **Multiagent System - A Theoretical Framework for Intentions, Know-How and Communications**. Berlin: Springer-Verlag. 1991

STRAUCH, D., *et al.* Linking Transport and Land Use Planning: The Microscopic Dynamic Simulation Model ILUMASS. In: ATKINSON, P. M., FOODY, G. M., DARBY, S. E. e WU, F. (Ed.). **Geodynamics**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2005. p.295-311.

SUN, R. **Cognition and Multi-Agent Interaction**. New York: Cambridge University. 2006

TODOS_PELA_EDUCAÇÃO. **Glossário – De Olho na Educação**. Inep – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. s.d. Acesso em: Maio 2011. Disponível em: <http://www.se.df.gov.br/sites/400/413/00000027.pdf>

TORRENS, P. **Geosimulation** 2004. Acesso em: 19 jun 2008. Disponível em: <http://www.geosimulation.org/>

TORRENS, P. M. How Land-Use Transportation Models work. **CASA - Centre for Advanced Spatial Analysis**, v.Working Paper Series - paper 20. 2000.

USP SIBI. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses da USP : documento eletrônico e impresso Parte I (ABNT)** São Paulo. 2009

WADDELL, P. UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning. **Journal of the American Planning Association**, v.68, n.3, p.297-314. 2002.

WEBSTER, C. J. e WU, F. Regulation, land use mix and urban performance part 2. Theory. **Environment and Planning A**, v.31, n.9, p.1529-1547. 1999.

WEISS, G. **Multiagent Systems - A Modern approach to Distributed Artificial Intelligence**. Cambridge: The MIT Press. 1999

WHITE, R. e ENGELEN, G. Urban Systems Dynamics and Cellular Automata: Fractal Structures between Order and Chaos. **Chaos, Solitons & Fractals**, v.4, p.563-583. 1994.

WILENSKY, U. **NetLogo**. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. 1999. Acesso em: 16 Jun. Disponível em: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

_____. **Lottery Example**: Model Library - Netlogo 2004.

_____. **NetLogo Preferential Attachment model**. . Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling - Northwestern University,. 2005. Acesso em: Disponível em: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/PreferentialAttachment>.

WILSON, A. G. **Urban and Regional Models in Geography and Planning**. London: John Wiley & Sons. 1974

WOOLDRIDGE, M. Intelligent Agent. In: WEISS, G. (Ed.). **Multiagent systems - a modern approach to distributed artificial intelligence**. Cambridge: The MIT Press, 1999.

_____. **An Introduction to Multiagent Systems**. Chichester: John Wiley & Sons. 2002

YAZAKI, L. M. Análise da fecundidade no Estado de São Paulo. **São Paulo em Perspectiva**, v.22, n.1, p.48-65. 2008.

ZHAO, F., *et al.* **REFINEMENT OF FSUTMS TRIP DISTRIBUTION METHODOLOGY**. Lehman Center for Transportation Research, Department of Civil and Environmental Engineering, Florida International University, Florida Department of Transportation. September 2004. 2004

GLOSSÁRIO

Nesta seção são delimitados os conceitos dos principais termos usados nesta pesquisa. O objetivo é esclarecer o significado considerado neste trabalho para estes termos, pois alguns deles possuem definições diferentes dependendo da referência bibliográfica. Além disto, alguns termos, por serem provenientes de outras ciências além da Engenharia, são poucos usados em trabalhos na área de Transporte e carecem maiores informações. Os termos deste glossário estão organizados em ordem alfabética.

ATRAÇÃO DE VIAGENS: é usado para descrever viagens geradas por atividades de base residencial em terminais não residenciais, tais como emprego, serviços varejistas, etc. (HUTCHINSON, 1979).

DEMANDA: Considera-se demanda como “movimento de passageiros, entre pares de localidades, em um período determinado” (ANTT, 2011). As demandas de viagens urbanas são constituídas por uma série de diferentes tipos de viagens, que apresentam características espaciais e temporais específicas (HUTCHINSON, 1979).

FLUXO DE TRÁFEGO: Define-se *Volume de Tráfego* (ou Fluxo de Tráfego) como o número de veículos que passam por uma seção de uma via, ou de uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo (DNIT, 2006b).

MICRODADOS: Menor nível de desagregação de uma pesquisa, retratando, na forma de códigos numéricos, o conteúdo dos questionários, preservando o sigilo das informações. Os microdados possibilitam aos usuários com conhecimentos de linguagens de programação ou softwares de cálculos criarem suas próprias tabelas de dados numéricos. Acompanha o arquivo de microdados a documentação que fornece nomes e respectivos códigos das variáveis e suas categorias, adicionada, quando necessário, dos elementos para o cálculo dos erros amostrais (PORTALGEO, 2011).

NÍVEL DE ENSINO: é cada etapa da Educação Escolar regular a Educação Infantil, o Ensino Fundamental, o Ensino Médio, não abrangendo não abrangendo as modalidades que requerem um tratamento pedagógico específico (educação especial e educação de jovens e adultos) (TODOS_PELA_EDUCAÇÃO, s.d.). Nesta pesquisa também considera-se o Ensino Técnico e Superior como Nível de Ensino.

PESQUISAS DE TRÁFEGO: são levantamentos sistemáticos de coleta de dados dos cinco elementos fundamentais do tráfego (motorista, pedestre, veículo, via e meio ambiente) e seu interrelacionamento (DNIT, 2006a).

PRODUÇÃO DE VIAGENS: termo reservado para viagens geradas por zonas residenciais (HUTCHINSON, 1979).

RASTER: O formato raster, também chamado de representação matricial, é composto por estrutura de dados celular composta de linhas e colunas para o armazenamento de imagens. Cada célula denomina-se pixel, que é a menor unidade de informação em uma imagem ou mapa matricial (FONSECA_JUNIOR, 2011).

VETOR: O formato vetor é composto por pontos, linhas e polígonos (áreas), os quais são associados à pares de coordenadas no espaço, medidas sempre em relação a uma mesma origem (FONSECA_JUNIOR, 2011).

VIAGEM: É uma jornada individual com certo propósito entre dois pontos por um meio específico de transporte, por pessoas de idade mínima de 5 anos. Todos os modos de transportes são contabilizados, entretanto viagens a pé são consideradas se a distância percorrida for maior do que 300 metros. A classificação de viagens nos estudos de planejamento em transporte urbano para viagens de base residencial são: (1) viagens pendulares; (2) viagens escolares (3) viagens de compras, (4) viagens pessoais de negócios; (5) viagens sócio-recreativas (MELLO, 1975; HUTCHINSON, 1979).

VIAGENS DE BASE NÃO RESIDENCIAL: são as viagens entre local de trabalho e comércio e as viagens de negócios entre dois locais de emprego (HUTCHINSON, 1979). São viagens que não tem como terminal o domicílio (ORTÚZAR e WILLUMSEN, 1994).

VIAGENS DE BASE RESIDENCIAL: são aquelas que têm um domicílio como terminal. Viagens típicas de base residencial são as viagens pendulares (para o trabalho), comerciais e escolares (HUTCHINSON, 1979; ORTÚZAR e WILLUMSEN, 1994).

APÊNDICES

Apêndice A – Estimativa de produção e atração de viagens feita a partir da regressão linear

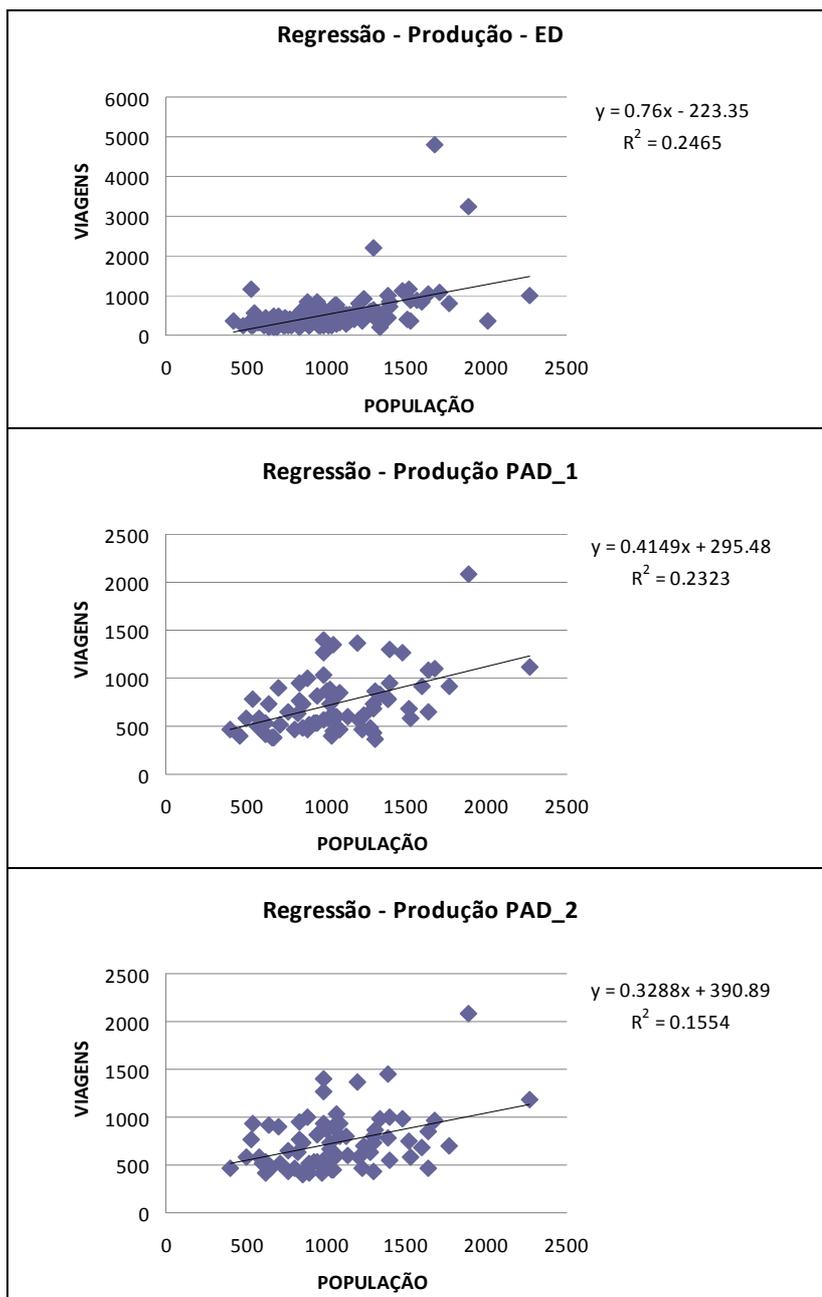


Figura A.1 Regressão para estimar a produção de viagens,

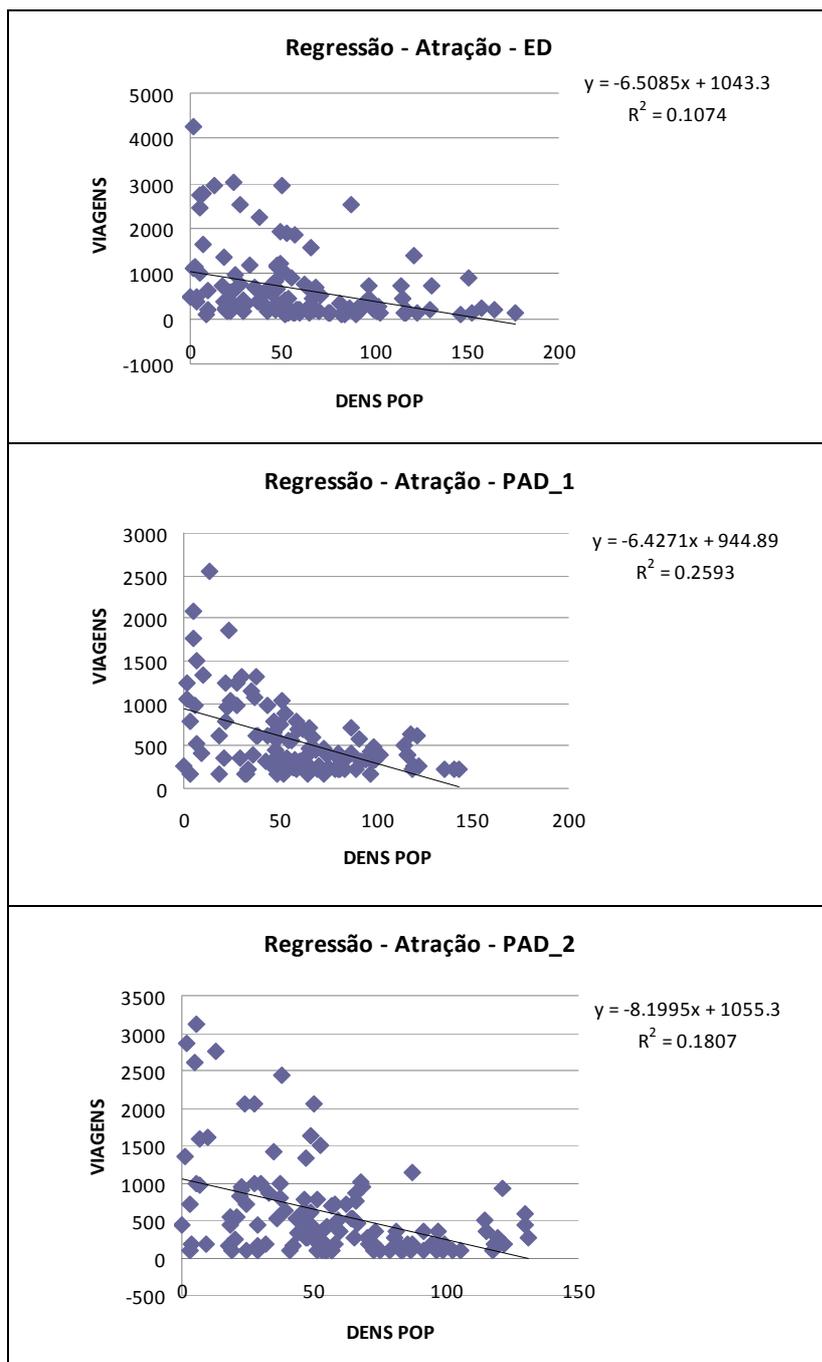


Figura A.2 Regressão para estimar a atração de viagens,

Apêndice B – Regressão linear com (x) = tamanho família e (y) = número de filhos

Effect	Ccoefficient	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2 Tail)
CONSTANT	-0,741	0,090	0,000	,	-8,220	0,000
VPESSOAS	0,602	0,022	0,973	1,000	26,788	0,000

Dep Var: VFILHOS N: 42 Multiple R: 0,973 Squared multiple R: 0,947
Adjusted squared multiple R: 0,946 Standard error of estimate: 0,266

(Teste feito no programa estatístico Systat)

Apêndice C – Probabilidade de escolha das atividades conforme faixa etária do morador (observações da pesquisa OD)

idade	prob-w	prob-s	prob-o
1 a 10 anos	0,00%	81,48%	18,52%
11 a 15 anos	0,00%	99,00%	1,00%
16 a 20 anos	2,00%	96,57%	2,00%
21 a 25 anos	20,00%	78,57%	1,43%
26 a 30 anos	34,91%	58,49%	6,60%
31 a 35 anos	75,32%	18,18%	6,49%
36 a 40 anos	80,85%	10,64%	8,51%
44 a 45 anos	98,00%	1,00%	1,00%
46 a 50 anos	87,27%	1,82%	10,91%
54 a 55 anos	82,93%	1,00%	16,07%
56 a 60 anos	67,74%	3,23%	29,03%
61 a 65 anos	36,00%	8,00%	56,00%
66 a 70 anos	23,53%	0,00%	76,47%
71 a 75 anos	10,53%	1,00%	88,47%
> 75 anos	1,00%	1,00%	98,00%
<i>total viagens</i>	<i>45,18%</i>	<i>40,23%</i>	<i>14,59%</i>

Apêndice D – Probabilidade de escolha de atividades quanto à situação domiciliar, (observações da pesquisa OD)

Atividade	Probabilidade		
	<i>Chefe de Família</i>	<i>filhos</i>	<i>cônjuge</i>
818 Trabalho na indústria	28,14%	12,50%	16,28%
828 Trabalho no comércio	6,93%	5,41%	9,30%
838 Trabalho em serviços	26,84%	16,55%	32,56%
848 Estudo	9,96%	60,81%	5,81%
858 Compras	5,63%	0,68%	8,14%
868 Saúde	6,06%	1,01%	6,98%
878 Lazer	6,49%	1,69%	11,63%
898 Outros	9,96%	1,35%	9,30%

Apêndice E – Descrição do algoritmo *SETPLAN*

- 1- Abrir a lista das UEAs com seus respectivos domicílios
- 2- Definir a quantidade de domicílios selecionados em cada UEA
 - a. Considerando $\text{pop-house} = \text{quantidade de domicílios}$
 - i. $\text{SE} (\text{pop-houses} * 0,01) > 1$
 - Selecionar 1% dos domicílios da UEA
 - ii. $\text{SE} (\text{pop-houses} * 0,01) \leq 1 \text{ E } (\text{pop-houses} * 0,05) > 1$
 - Selecionar 5% dos domicílios da UEA
 - iii. $\text{SE} (\text{pop-houses} * 0,01) \leq 1 \text{ E } (\text{pop-houses} * 0,05) \leq 1 \text{ E } (\text{pop-houses} * 0,1) > 1$
 - Selecionar 10% dos domicílios da UEA
 - iv. $\text{SE} \text{ pop-houses} * 0,01 \leq 1 \text{ E } (\text{pop-houses} * 0,05) \leq 1 \text{ E } (\text{pop-houses} * 0,1) \leq 1 \text{ E } (\text{pop-houses} * 0,5) > 1$
 - Selecionar 50% dos domicílios da UEA
 - v. $\text{SE} (\text{pop-houses} * 0,01) \leq 1 \text{ E } (\text{pop-houses} * 0,05) \leq 1 \text{ E } (\text{pop-houses} * 0,1) \leq 1 \text{ E } 0 < (\text{pop-houses} * 0,5) \leq 1$
 - Selecionar 100% dos domicílios da UEA
- 3- Gerar grupo dos domicílios selecionados em todas as UEAs
- 4- Excluir o registro dos domicílios selecionados da listagem de domicílios da UEA
- 5- Salvar uma nova listagem de UEAs e com sua respectiva quantidade de domicílios atualizada

Apêndice F – Exemplo da aplicação do algoritmo *CHOOSE-ACTIVITY*

Dados do morador:

Idade = 20 anos

Situação domiciliar = chefe de família

Iteração 1

1) Definir *r-plan*

Atividade com maior probabilidade para o chefe de família = trabalho – indústria

Valor da probabilidade = 28,14% (Ver Apêndice D)

Intervalo do número aleatório: 0 – 28,14

r-plan = 20

2) Definir *c-plan* = 848 (estudar)

3) Definir *p-plan*

Função *p-plan* = $P_{\text{idade}}^{P_{\text{sd}}}$

(probabilidade da atividade estudar para idade de 20 anos)

$P_{\text{idade}} = 96,57\%$

(probabilidade da atividade estudar para situação domiciliar de chefe de família)

$P_{\text{sd}} = 9,96 / 100 = 0,096$

$p\text{-plan} = 96,57^{0,096} = 1,57$

4) $r\text{-plan} < p\text{-plan}?$

20 < 1,57? NÃO

Iteração 2

1) *r-plan* = 1

2) *c-plan* = 838 (trabalho – serviço)

3) função *p-plan*

(probabilidade da atividade trabalhar para idade de 20 anos)

$P_{\text{idade}} = 2$

(probabilidade da atividade trabalhar - serviço para situação domiciliar de chefe de família)

$P_{\text{sd}} = 26 / 100 = 0,26$

$p\text{-plan} = 2^{0,26} = 1,2$

4) $r\text{-plan} < p\text{-plan}?$

1 < 1,2 ? SIM

l-plan = *c-plan* = 838

Apêndice G – Resultados obtidos na aplicação das três funções *p-plan* e o observado na pesquisa ED

<i>Chefe de família - Distribuição das atividades</i>								
<i>head</i>	<i>od</i>	<i>multi</i>	<i>pow</i>	<i>exp</i>		<i>multi</i>	<i>pow</i>	<i>exp</i>
818	28,14%	33,11%	30,44%	36,89%		4,97%	2,30%	8,75%
828	6,93%	8,44%	9,56%	9,78%		1,51%	2,63%	2,85%
838	26,84%	37,56%	27,11%	30,89%		10,72%	0,27%	4,05%
848	9,96%	7,11%	8,00%	7,33%		2,85%	1,96%	2,63%
858	5,63%	2,22%	5,33%	3,11%		3,41%	0,30%	2,52%
868	6,06%	3,11%	5,56%	3,56%		2,95%	0,50%	2,50%
878	6,49%	4,22%	7,33%	2,00%		2,27%	0,84%	4,49%
898	9,96%	4,22%	6,67%	6,44%		5,74%	3,29%	3,52%
Soma erros						34,41%	12,10%	31,30%

<i>Filhos – Distribuição das atividades</i>								
<i>chd</i>	<i>od</i>	<i>multi</i>	<i>pow</i>	<i>exp</i>		<i>multi</i>	<i>pow</i>	<i>exp</i>
818	12,50%	2,92%	4,97%	2,74%		9,58%	7,53%	9,76%
828	5,41%	1,72%	2,23%	0,69%		3,69%	3,18%	4,72%
838	16,55%	2,92%	7,20%	3,43%		13,63%	9,35%	13,12%
848	60,81%	91,60%	75,64%	92,62%		30,79%	14,83%	31,81%
858	0,68%	0,00%	2,23%	0,00%		0,68%	1,55%	0,68%
868	1,01%	0,00%	4,12%	0,00%		1,01%	3,11%	1,01%
878	1,69%	0,34%	2,23%	0,51%		1,35%	0,54%	1,18%
898	1,35%	0,51%	1,37%	0,00%		0,84%	0,02%	1,35%
Soma erros						61,57%	40,10%	63,63%

<i>Cônjuge – Distribuição das atividades</i>								
<i>part</i>	<i>od</i>	<i>multi</i>	<i>pow</i>	<i>exp</i>		<i>multi</i>	<i>pow</i>	<i>exp</i>
818	16,28%	22,94%	18,04%	18,81%		6,66%	1,76%	2,53%
828	9,30%	10,82%	12,37%	14,69%		1,52%	3,07%	5,39%
838	32,56%	45,10%	37,11%	44,85%		12,54%	4,55%	12,29%
848	5,81%	4,38%	8,25%	4,90%		1,43%	2,44%	0,91%
858	8,14%	3,35%	5,93%	3,87%		4,79%	2,21%	4,27%
868	6,98%	3,61%	4,64%	2,84%		3,37%	2,34%	4,14%
878	11,63%	7,22%	8,76%	4,64%		4,41%	2,87%	6,99%
898	9,30%	2,58%	4,90%	5,41%		6,72%	4,40%	3,89%
Soma erros						41,45%	23,65%	40,42%

Apêndice H - Cálculo do erro no χ^2 e EQM do modelo TC/PC-D e AP-SD

<i>Modelos</i>	<i>EM REL COM GRAVIT</i>		<i>EM REL COM UTPS</i>	
	<i>qui-quadrado</i>	<i>raiz soma erros</i>	<i>qui-quadrado</i>	<i>raiz soma erros</i>
TC/PC-D	1604634,47	50295,12	0,57	-13,35%
AP-SD	1605261,20	51201,55	0,61	-15,40%
GRAVIT	1595421,29	44369,61	*	*
UTPS	1596493,279	48853,31791	*	*

Apêndice I – Tratamento dos dados considerados em Zhao *et al*, (2004)

Tabela I.1 - Cálculo do erro nas Taxas de Coincidência - Modelo de Oportunidades Intervenientes (MOI)

<i>Model</i>	<i>IOM</i>	<i>Gravity</i>
HBW	0,826	0,831
HBS	0,68	0,859
HBSR	0,635	0,76
HBO	0,717	0,797
NHBW	0,778	0,789
NHBO	0,784	0,7800
media	0,737	0,803
desvio	0,072	0,036
% DIFER, EM REAL GRAVIT	8,22%	

Tabela I.2 - Cálculo do erro nas Taxas de Coincidência - Modelo de Escolha Discreta (MED)

<i>County</i>	<i>Choice</i>	<i>Gravity</i>
Broward	0,829	0,734
Palm	0,817	0,783
Volusia	0,646	0,645
MEDIA	0,764	0,720667
DESVIO PAD	0,102367	0,06996
% DIFER, EM REAL GRAVIT	6,01%	

Tabela I.3 - Cálculo do erro nas Viagens Intrazonais- Modelo de Oportunidades Intervenientes (MOI)

<i>IOM</i>	<i>Surveyed Data</i>	<i>IOM</i>	<i>Gravity</i>
Purpose	%	%	%
HBW	2,84	0,63	2,53
HBS	3,22	1,42	5,41
HBSR	17,7	2,07	9,65
HBO	6,64	1,84	2,42
NHBW	7,22	3,72	6,97
NHBO	11,98	3,63	6,55
MEDIA	8,266666667	2,218333	5,588333
DIFERENÇA (GRAVIT)		-3,37	
% DIFERENÇA (GRAVIT)		-0,60304	
DIFERENÇA (SURVEY)		-6,04833	
% DIFERENÇA (SURVEY)		-0,73165	

Tabela I.4 - Cálculo do erro nas Viagens Intrazonais- - Modelo de Escolha Discreta (ED)

County	Survey	Choice	Gravity
Broward	4,08	1,01	2,83
Palm	2,85	1,2	2,53
Volusia	12,12	2,38	4,04
MÉDIA	6,35	1,53	3,133333
DIFERENÇA (GRAVIT)		-1,60333	
% DIFERENÇA (GRAVIT)		-0,5117	

Tabela L.5 - Cálculo do erro no χ^2 e EQM (MOI)

trip purpose	model	Chi Square	Mean Errors Squared
HBW	IOM	6,41	2,41
	Gravity	5,61	2
HBS	IOM	12,54	4,59
	Gravity	10,27	3
HBSR	IOM	23,56	12,26
	Gravity	12,45	8,52
HBO	IOM	10,09	5,37
	Gravity	4,93	3,06
NHBW	IOM	5,3	2,37
	Gravity	9,12	3,12
NHBO	IOM	5,46	1,57
	Gravity	2,59	1,29

IOM (MÉDIA)	10,56	4,76
Gravity (MÉDIA)	7,50	3,50
%diferença	41%	36%

Tabela I.5 - Cálculo do erro no χ^2 e EQM (MEI)

Model	Chi-square	Mean Errors Squared
Choice	8.08	0.72
Gravity	30.16	1.35
Choice	5.58	2.05
Gravity	5.61	2
Choice	3.13	3.85
Gravity	13.88	13.75
Choice (MÉDIA)	5.596666667	2.206666667
Gravity (MÉDIA)	16.55	5.7
%ERRO	-66%	-61%

Apêndice J - Tratamento dos dados considerados em Meister *et al*, (2010)Tabela J.1 – Valores numéricos do *TLD* (Porcentagem em relação ao total de viagens)

<i>Distância</i>	<i>Observados</i>	<i>Estimados</i>
-	7,126%	4,850%
0,10	4,302%	0,955%
0,20	5,232%	1,449%
0,50	12,638%	6,105%
1,00	13,254%	10,917%
2,00	13,533%	18,385%
5,00	18,239%	28,318%
10,00	11,149%	13,481%
20,00	7,543%	7,724%
50,00	5,124%	5,903%
100,00	1,470%	1,314%
200,00	0,307%	0,426%
500,00	0,005%	0,172%
1000,00	0,077%	0,000%

Tabela J.2 – Cálculo da Taxa de Coincidência (TC)

observado	simulado	mínimo	máximo	coincidende ratio
0,071	0,0485	0,05	0,07	0,6876329
0,043	0,00955	0,06	0,11	
0,052	0,01449	0,07	0,17	
0,126	0,06105	0,13	0,29	
0,133	0,10917	0,24	0,43	
0,135	0,18385	0,38	0,61	
0,182	0,28318	0,56	0,89	
0,111	0,13481	0,67	1,03	
0,075	0,07724	0,75	1,10	
0,051	0,05903	0,80	1,16	
0,015	0,01314	0,81	1,18	
0,003	0,00426	0,81	1,18	
0,000	0,00172	0,81	1,18	
0,001	0	0,81	1,19	

Tabela J.3 – Cálculo do teste KS

Observados		Estimados			
1	7,126%	0,07	0,0485	0,05	0,02
2	4,302%	0,04	0,00955	0,01	0,03
3	5,232%	0,05	0,01449	0,01	0,04
4	12,638%	0,13	0,06105	0,06	0,07
5	13,254%	0,13	0,10917	0,11	0,02
6	13,533%	0,14	0,18385	0,18	0,05
7	18,239%	0,18	0,28318	0,28	0,10
8	11,149%	0,11	0,13481	0,13	0,02
9	7,543%	0,08	0,07724	0,08	0,00
10	5,124%	0,05	0,05903	0,06	0,01
11	1,470%	0,01	0,01314	0,01	0,00
12	0,307%	0,00	0,00426	0,00	0,00
13	0,005%	0,00	0,00172	0,00	0,00
14	0,077%	0,00	0	0,00	0,00

n	14	
	5%	1%
ks critico	0,349	0,418

Apêndice K – Dados numéricos dos gráficos *TLD* dos resultados observados e dos estimados pelos modelos

Tabela K.1 – Resultados Observados (pesquisa OD)

distância	<i>TLD-OD</i>
0-1,58	27,35
1,58-3,16	26,12
3,16-4,73	20,28
4,73-6,31	12,18
6,31-7,89	7,78
7,89-9,47	4,27
9,47-11,05	1,49
11,05-12,62	0,29
12,62-14,20	0,20
>14,2	0,04

Tabela K.2 – Resultados estimados pelos modelos gravitacionais

distância	GRAVIT	<i>UTPS</i>
0-1,58	26,36	17,79
1,58-3,16	20,44	26,02
3,16-4,73	19,13	20,38
4,73-6,31	15,17	14,75
6,31-7,89	9,46	11,28
7,89-9,47	5,42	6,23
9,47-11,05	2,47	2,35
11,05-12,62	1,02	0,77
12,62-14,20	0,46	0,37
>14,2	0,07	0,05

Tabela K.3 – Resultados estimados pelos modelos GDA-D

distância	TP/PC-D	TP-D	PC-D	AP-D
0-1,58	40,68	41,00	42,93	45,17
1,58-3,16	18,61	18,57	19,42	20,22
3,16-4,73	14,92	14,81	14,00	13,07
4,73-6,31	11,30	11,19	10,38	9,45
6,31-7,89	7,33	7,25	6,59	5,85
7,89-9,47	4,22	4,24	3,92	3,61
9,47-11,05	2,12	2,15	1,98	1,83
11,05-12,62	0,52	0,48	0,53	0,53
12,62-14,20	0,26	0,27	0,26	0,25
>14,2	0,03	0,03	0,03	0,02

Tabela K.4 – Resultados estimados pelos modelos GDA-SD

distância	TP/PC-SD	TP-SD	PC-SD	AP-SD
0-1,58	7,53	7,53	7,56	7,59
1,58-3,16	18,69	18,69	18,73	18,77
3,16-4,73	23,96	23,65	23,81	23,65
4,73-6,31	22,34	22,63	22,30	22,25
6,31-7,89	14,90	14,90	14,92	14,93
7,89-9,47	7,67	7,68	7,74	7,8
9,47-11,05	3,51	3,48	3,52	3,52
11,05-12,62	0,99	1,03	1,04	1,09
12,62-14,20	0,36	0,38	0,37	0,37
>14,2	0,04	0,04	0,04	0,03

Apêndices no CD-ROM (em anexo no exemplar impresso):

Apêndice L – Dados da produção e atração de viagens provenientes da expansão da matriz OD

Apêndice M – Programa computacional da aplicação do Módulo 1

Apêndice N – Programa computacional da aplicação do Módulo 2

Apêndice O – Valor da Variável *atração* por UEA – estimativa de atração de viagens

Apêndice P – Programa computacional da aplicação do Módulo 4

Apêndice Q – Matriz de impedância

Apêndice R – Valores de χ^2 e EQM

Apêndice S – Validação das matrizes PA

Apêndice T – Contagens das viagens intrazonais

ANEXOS

Anexo A – Arquivos geográficos de São Carlos (SP) que formam a base do ambiente de simulação (*Em anexo no CD-ROM*)

Anexo B – Destinos com maior atração de viagens intraurbanas na cidade de São Carlos (SP) (SÃO CARLOS, 2007d)

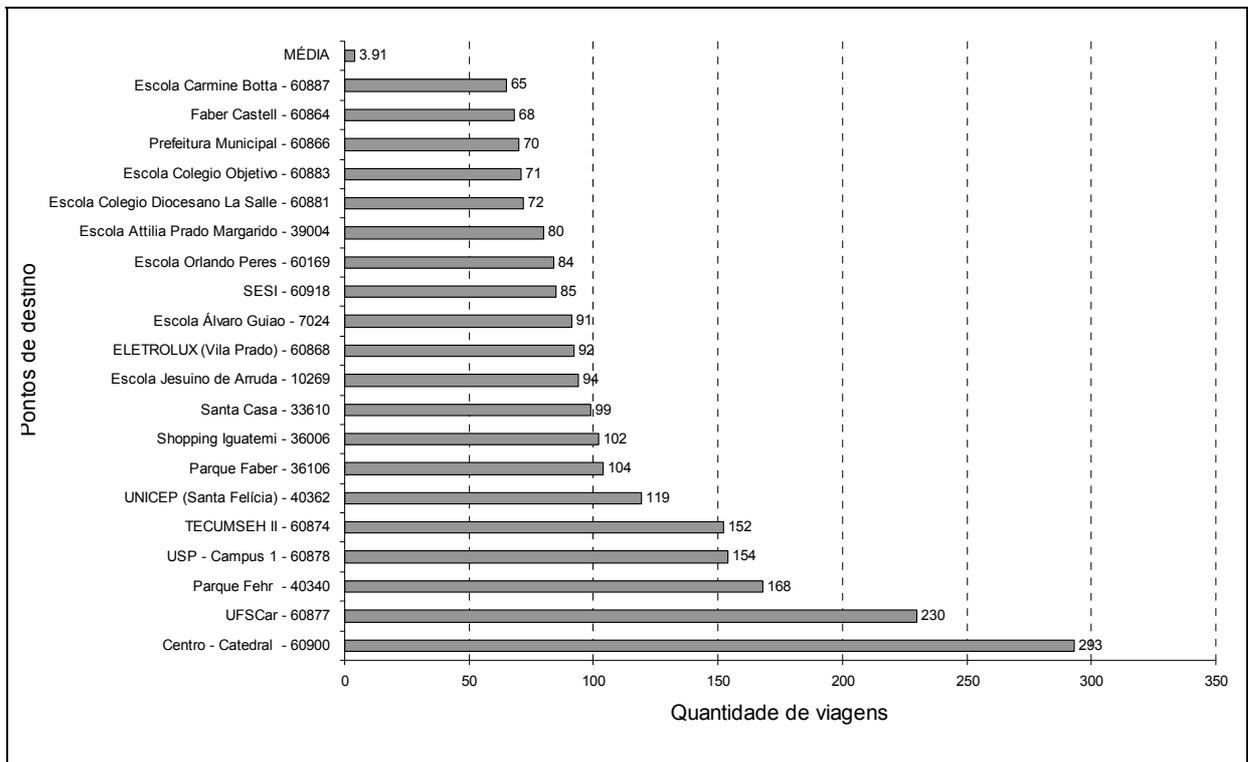


Figura B.1 – Quantidade de viagens por pontos de destino (amostra ED)

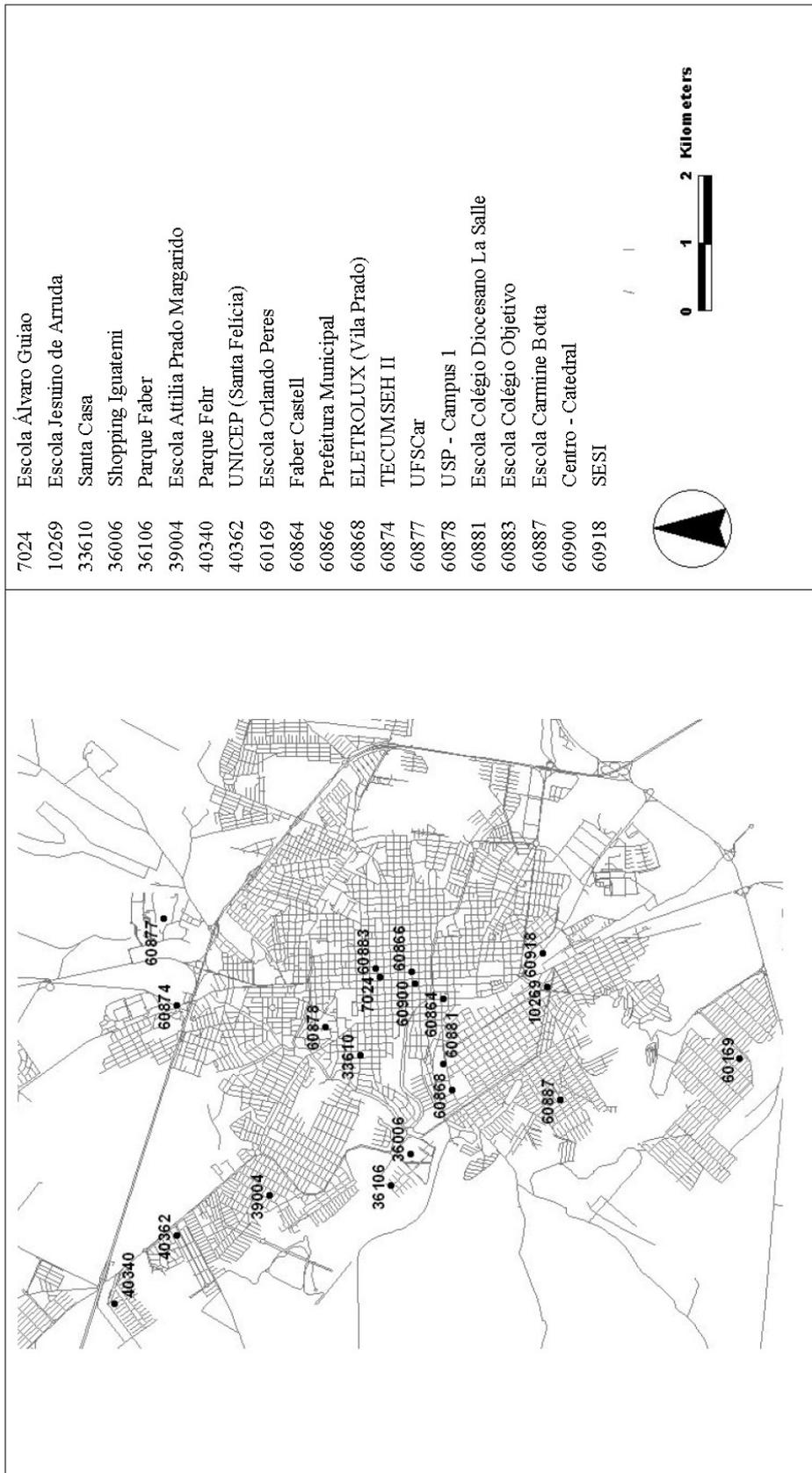


Figura B.2 – Localização dos pontos com maior quantidade de viagens