AMANDA CAMARGO HEINRICH CARRARA

Elaboração de cenários para avaliação dos efeitos do
crescimento urbano disperso sobre as emissões de GEEs: o caso
de São Carlos (SP)

São Carlos

2014

AMANDA CAMARGO HEINRICH CARRARA

Elaboração de cenários para avaliação dos efeitos do
crescimento urbano disperso sobre as emissões de GEEs: o caso
de São Carlos (SP)

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos, Universidade de
São Paulo, como pré-requisito à obtenção do
título de Mestre em Ciências da Engenharia
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Montañó

São Carlos
2014

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

C313e Camargo Heinrich Carrara, Amanda
Elaboração de cenários para avaliação dos efeitos
do crescimento urbano disperso sobre as emissões de
GEEs em cidades médias: o caso de São Carlos (SP) /
Amanda Camargo Heinrich Carrara; orientador Marcelo
Montaño. São Carlos, 2014.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental e Área de
Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2014.

1. Impactos ambientais. 2. Fluxos urbanos. 3.
Crescimento urbano. 4. Cenários de emissões de GEEs. 5.
Instrumentos de política ambiental. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **AMANDA CAMARGO HEINRICH CARRARA**.

Título da dissertação: "Elaboração de cenários para avaliação dos efeitos do crescimento urbano disperso sobre as emissões de GEEs em cidades médias: o caso de São Carlos (SP)".

Data da defesa: 18/06/2014

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **Marcelo Montaña (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **Evandro Mateus Moretto**
(Escola de Artes, Ciências e Humanidades/EACH/USP)

Prof. Associado **Renato da Silva Lima**
(Universidade Federal de Itajubá/UNIFEI)

Resultado:

APROVADA

Aprovada

APROVADA

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:

Prof. Dr. **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

*À minha amada família, com quem
a cada dia aprendo mais e
construo meu caminho.
Especialmente à minha mãe, quem
me deu grande suporte durante
esse período.*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Marcelo Montaña pela orientação para a definição e construção da pesquisa.

À minha família, meus pais, irmãos, avó, tios e primas pelo amor, apoio, confiança e companheirismo que me completam todos os dias.

Ao Professor Antonio Nelson e seus alunos Thais, Gustavo e Afonso, pela paciência e dedicação que tiveram em auxiliar a definição e utilização das metodologias da área de transportes.

Ao Professor Aldo e à Yovana pelos conselhos e orientações na definição dos caminhos da pesquisa.

Aos funcionários que mantêm o funcionamento da Universidade e nos auxilia com o possível nessa jornada acadêmica, em especial ao Zé, ao Nelson, ao Cido e à Rose.

Aos companheiros de cafés, conversas, conselhos e ensinamentos compartilhados no CCEAMA, Lilian, Tiago, Renata, Ângela, Anne, Pri, Duda, Ghis, Daniel, Denise, Carol, Juliana, Fran, André.

Às minhas queridas amigas Danie, Lili, Mari e MP, que foram grandes companheiras nesse período, nas diversas situações da vida, sempre prontas para o que der e vier.

A todos que me auxiliaram tanto na revisão, formatação e discussões da dissertação, foram muito importantes para essa finalização.

RESUMO

CARRARA, A. C. H. **Elaboração de cenários para avaliação dos efeitos do crescimento urbano disperso sobre as emissões de GEEs: o caso de São Carlos (SP)**. 2014. 150p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

Diversos países têm direcionado esforços para redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs), acompanhados de medidas de adaptação aos cenários de mudanças climáticas e mitigação de seus efeitos. Ao mesmo tempo, o padrão de crescimento urbano atual tem sido apontado como fator de aumento da ineficiência dos fluxos de matéria e energia nas cidades. Mais especificamente, são encontradas relações entre padrões de uso do solo urbano, o comportamento de viagens da população e a necessidade de utilização de energia para seu deslocamento diário. Deste modo, o presente trabalho volta-se para a avaliação dos efeitos do crescimento urbano disperso na eficiência energética das cidades, especificamente no que tange à eficiência dos deslocamentos intra-urbanos para a realização das principais atividades diárias da população. Deste modo, a presente pesquisa propôs a elaboração de cenários de emissões de GEEs para a cidade de São Carlos (SP) como indicadores de eficiência dos deslocamentos. Foi elaborado um cenário inicial para o ano de 2010 e nove cenários prospectivos (um tendencial e oito alternativos) para 2050, permitindo a comparação entre alternativas de desenvolvimento urbano. As alternativas variaram em relação aos fatores de dispersão e compactação da área urbana; concentração e homogeneização da distribuição espacial das atividades (atratores de deslocamento) e dos locais de moradia da população (geradores de deslocamento); e alterações nas escolhas entre os modos de transporte pela população. O cenário representativo das tendências de dispersão observadas atualmente apresentou um aumento de 135,6% das emissões em relação a 2010. Como mais eficiente, o cenário com distribuição mais compacta das moradia, distribuição mais homogênea dos locais de realização das atividades, a população opta por residir em locais mais próximos aos locais de trabalho e estudo e o transporte coletivo é mais utilizado que o individual, apresentou uma quantidade de emissões 74,89% menores que o cenário tendencial e 40,9% menores que o cenário para 2010. Os níveis de emissões calculados para a cidade de São Carlos, ainda que relativamente baixos quando considerados de modo isolado, demonstram a relevância de se levar em conta a eficiência energética no planejamento da rede urbana de transportes e, mais ainda, no planejamento das formas e arranjos espaciais da cidade.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Fluxos urbanos. Crescimento urbano. Cenários de emissões de GEEs. Instrumentos de política ambiental.

ABSTRACT

CARRARA, A. C. H. **Developing scenarios for assessing the effects of dispersed urban growth on GHG emissions: the case of São Carlos (SP)**. 2014. 150p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

Many countries have spent efforts to reduce Greenhouse Gases (GHGs) emissions, together with strategies of adaptation to new scenarios of climate changes and mitigation of its effects. At the same time, the pattern of growth of the cities, known as urban sprawl, has been reported as associated to the increase of inefficiency of flows of matter and energy in the cities. More specifically, relationships between patterns of urban land use, travel behavior of the population and the need to use energy for your daily commute are found, specifically with respect to the efficiency of intra-urban displacement to perform the daily activities of the population. Therefore, this research proposed the elaboration of scenarios of GHG emissions for the city of São Carlos (SP) as indicators of efficiency of displacement. An initial scenario for the year 2010 and nine prospective scenarios (one trend and eight alternative) to the horizon of 2050 were prepared, allowing the comparison of alternative urban development. Alternatives varied according to the scatter and compacting factors of the urban area; concentration and homogenization of the spatial distribution of activities (displacement attractors) and dwelling places of the population (displacement generators); and changes in choices between modes of transport by population. The scenario representative of the dispersion trends currently observed increased by 135.6% emissions compared to 2010. As the most efficient, the scenario with more compact distribution of housing, more homogeneous distribution of the local of activities, the population chooses to reside in closer to places of work and study and the local public transportation is more used than the individual, presented an amount of 74.89% lower emissions than the trends scenario and 40.9% lower than the scenario for 2010. Although the emissions levels calculated to the city of São Carlos are considered low when compared with other cities, the study shows the relevance of considering the energy efficiency in the urban transport system planning and, moreover, in the planning of urban arrangements.

Keywords: Environmental impacts. Urban flows. Urban growth. GHG scenarios emissions. Instruments for environmental policy.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do fenômeno do <i>urban sprawl</i>	35
Tabela 2: Causas associadas ao urban sprawl segundo revisão de literatura.....	36
Tabela 3: Utilização de energia por passageiro no transporte privado, densidade urbana e emissões de GGEs para diversas cidades do mundo	46
Tabela 4: Contribuição do setor de transportes nas emissões totais de cidades do mundo	46
Tabela 5: Evolução das áreas urbanizadas de São Carlos	54
Tabela 6: Quantificação dos tipos de crescimento urbano verificados para São Carlos (SP) no período 1990 – 2010 (autoria própria).....	56
Tabela 7: Nomenclaturas utilizadas para os cenários ao longo da pesquisa.....	69
Tabela 8: Caracterização de cada cenário segundo cada variável condicionante.....	70
Tabela 9: População urbana estimada para São Carlos em 2010 e 2050.....	76
Tabela 10: Dados de empregos e estudos para a cidade de São Carlos em 2010 e estimados para 2050	77
Tabela 11: Densidade habitacional por domicílio e por área habitacional para as zonas do zoneamento da macrozona urbana de São Carlos	85
Tabela 12: Histórico da frota de automóveis em São Carlos.....	90
Tabela 13: Taxa de utilização dos modos de transporte em 2010 e estimados para 2050 – Cenário compacto e tendencial.....	91
Tabela 14: Número de viagens estimadas para cada cenário por modo de transporte.	108
Tabela 15: Constante Gravitacional calculada para cada modo de transporte pela calibração do modelo de viagens para São Carlos	109
Tabela 16: Distância total percorrida diariamente pela população para cada cenário.	111
Tabela 17: Potenciais de Aquecimento Global para os principais GEE.....	124
Tabela 18: Frota de automóveis do Estado de São Paulo.	125
Tabela 19: Preço médio mensal do etanol e da gasolina vendida em São Carlos aos consumidores finais em 2010	126
Tabela 20: Fatores de emissões em gramas de poluente por quilômetro percorrido (g/km) de cada GGE para cada tipo de veículo	128

Tabela 21: Emissões de GGEs calculadas para cada cenário.....	131
Tabela 22: Relação entre o Potencial de Aquecimento Global dos cenários futuros e o cenário base 2010.....	136
Tabela 23: Informações de emissões do setor de transportes de diferentes regiões e municípios.....	145

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Níveis de aplicação dos instrumentos de avaliação de impacto tradicionais e a avaliação de sustentabilidade.....	25
Figura 2: Procedimentos metodológicos em planejamento ambiental.	28
Figura 3: Processo de construção de cenários alternativos.....	30
Figura 4: Os fluxos em um metabolismo urbano linear em comparação ao circular ...	39
Figura 5: Fluxos inerentes ao metabolismo urbano da cidade de Bruxelas.....	40
Figura 6: Emissões de GEE para cidades e regiões metropolitanas, compilado de diferentes documentos com diferentes metodologias.....	42
Figura 7: Ferramentas e escalas de aplicação da Ecologia Industrial.....	43
Figura 8: Densidade populacional <i>versus</i> consumo de energia per capita em cidades do mundo	47
Figura 9: Contexto das cidades quanto ao uso e ocupação do solo urbano e o comportamento de viagens	48
Figura 10: Mapa com a localização do município de São Carlos no estado de São Paulo e o detalhe para a área urbana, o perímetro urbano e as principais rodovias e estradas do município	53
Figura 11: Taxa geométrica de crescimento populacional 1940-2010 do Brasil, Estado de São Paulo e São Carlos	53
Figura 12: Tipos de crescimento urbano verificados para São Carlos (SP), no período 1990-2010 (autoria própria).....	56
Figura 13: Expansão urbana prevista de acordo com pedidos de loteamentos e condomínios à Prefeitura de São Carlos.....	58
Figura 14: Mapas comparativos com as densidades de São Carlos em 1991, 2000 e 2010.....	59
Figura 15: Mapa com os pontos de localização das escolas, dos comércios e das indústrias na cidade de São Carlos atualizado para 2011	60
Figura 16: Mapa com a distribuição dos usos mistos da cidade – pontos de comércio e serviços e indústrias.....	61
Figura 17: Distribuição percentual de utilização dos modos de transporte na cidade de São Carlos, 2007.....	62

Figura 18: Gráfico com a distribuição de viagens segundo o motivo para a cidade de São Carlos	67
Figura 19: Fluxograma de construção dos cenários.....	68
Figura 20: Mapa com os setores urbanos definidos para São Carlos para 2010.....	78
Figura 21: Distribuição da população urbana em São Carlos - 2010.....	80
Figura 22: Distribuição das atividades em São Carlos - 2010	80
Figura 23: Distribuição de utilização entre os modos de transporte - Viagens realizadas somente por motivo de trabalho e estudo em São Carlos, 2010	82
Figura 24: Zoneamento da Macrozona Urbana de São Carlos.....	84
Figura 25: Mapa dos setores urbanos de São Carlos estimados para 2050, com destaque para a diferenciação em relação a 2010	86
Figura 26: Distribuição da população urbana - Cenário tendencial - 2050.....	89
Figura 27: Distribuição das atividades - Cenário tendencial – 2050.....	89
Figura 28: Mapa com os vazios urbanos localizados por imagem de satélite para a cidade de São Carlos em 2012	92
Figura 29: Distribuição da população urbana - Cenário compacto - 2050.....	94
Figura 30: Distribuição das atividades - Cenário Compacto - 2050	94
Figura 31: Variação da distribuição das atividades - Cenário tendencial – 2050	97
Figura 32: Variação da distribuição das atividades - Cenário compacto - 2050.....	97
Figura 33: Distribuição de utilização entre os modos de transporte em Bogotá, Colômbia.....	99
Figura 34: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário 2010	112
Figura 35: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário compacto	113
Figura 36: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário tendencial.....	114
Figura 37: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário compacto com variação da distribuição espacial das atividades.....	115
Figura 38: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário tendencial com variação da distribuição espacial das atividades	116
Figura 39: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário compacto com variação da distribuição espacial das atividades e redução das distâncias percorridas	117

Figura 40: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário tendencial com variação da distribuição espacial das atividades e redução das distâncias percorridas	118
Figura 41: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário compacto com variação modal.....	119
Figura 42: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário tendencial com variação modal.....	120
Figura 43: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário de combinação das variações	121
Figura 44: Preferência de consumo de etanol e gasolina em veículos flex em relação ao preço dos combustíveis.....	126
Figura 45: Planilha utilizada para o cálculo da distância anual percorrida para o cenário base 2010	129
Figura 46: Planilha utilizada para os cálculos das emissões de GEEs para o cenário base 2010	130
Figura 47: Comparação entre as emissões de GEEs de cada cenário	135
Figura 48: Exibição conjunta dos mapas de distribuição da população urbana para os cenários tendencial (cenário 1) e compacto (cenário 2) de modo a permitir a comparação visual destas distribuições, utilização da ferramenta de agregação de dados (<i>cluster</i>)	137
Figura 49: Exibição conjunta dos mapas de distribuição das atividades no cenário tendencial (cenário 1) e no tendencial com variação das atividades (cenário 3), de modo a permitir a comparação visual destas distribuições, utilização da ferramenta de agregação de dados (<i>cluster</i>)	139
Figura 50: Exibição conjunta dos mapas de distribuição das atividades no cenário compacto (cenário 2) e no compacto com variação das atividades (cenário 4), de modo a permitir a comparação visual destas distribuições, utilização da ferramenta de agregação de dados (<i>cluster</i>)	140

LISTA DE SIGLAS

AAE – Avaliação Ambiental Estratégica

ACV – Análise de Ciclo de vida

AFM – Análise de Fluxo de Material

AI – Avaliação de Impacto

AIA Avaliação de Impacto Ambiental

ANTP – Agência Nacional de Transporte Público

AS – Avaliação de Sustentabilidade

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CQNUMC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima

GEE – Gases de Efeito Estufa

IEA – International Energy Agency

IPCC – Panel on Climate Change

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

NEPA – National Environmental Policy Act

PMSC – Prefeitura Municipal de São Carlos

PNMC – Plano Nacional de Mudanças Climáticas

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados

SA – Sustainability Appraisal

SIG – Sistema de Informação Geográfica

UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

ZT – Zona de Tráfego

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
2.	OBJETIVO.....	20
3.	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
4.	REFERENCIAL TEÓRICO	23
4.1.	O planejamento e a Avaliação de Impacto	23
4.1.1.	Planejamento e cenários	27
4.2.	Formação e crescimento das cidades e o <i>urban sprawl</i>	31
4.2.1.	Panorama da formação das cidades médias do Estado de São Paulo....	31
4.2.2.	<i>Urban sprawl</i> : definições, causas e efeitos	33
4.2.3.	<i>Urban sprawl</i> no Brasil	37
4.3.	Eficiência energética das cidades pela abordagem do metabolismo urbano.	39
4.4.	Eficiência energética dos deslocamentos intra-urbanos: relação entre emissões, densidade urbana e modos de transporte	44
5.	CARACTERIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO URBANO DA CIDADE DE SÃO CARLOS	51
5.1.	Histórico de urbanização	51
5.2.	Caracterização geral atual	52
5.3.	Padrões do <i>urban sprawl</i>	55
6.	CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS PARA A CIDADE DE SÃO CARLOS	64
6.1.	Considerações iniciais	64
6.2.	Dados disponíveis.....	70
6.2.1.	Censo 2010 com dados agregados por setor censitário	70
6.2.2.	Empregos formais municipais	71
6.2.3.	Pesquisa origem/destino	71
6.2.4.	Rede viária urbana e linhas de ônibus	72

6.2.5.	Cadastro com a localização dos empreendimentos residenciais e das áreas com pedido de diretrizes para ocupação	72
6.2.6.	Localização dos pontos de comércio e indústria	72
6.2.7.	Levantamento de alunos matriculados nas escolas e universidades em 2011	73
6.2.8.	Vazios urbanos.....	73
6.3.	Construção dos cenários	73
6.3.1.	População urbana em 2010	74
6.3.2.	População urbana em 2050	75
6.3.3.	Empregos e estudos em 2050	76
6.4.	CENÁRIO BASE – 2010	77
6.5.	CENÁRIO 1 – Tendencial (disperso).....	83
6.6.	CENÁRIO 2 – Compacto	91
6.7.	CENÁRIOS 3 e 4 - Variação da distribuição espacial das atividades realizadas pela população.....	95
6.8.	CENÁRIOS 5 e 6 – Variação da distribuição espacial das atividades realizadas pela população e diminuição das distâncias percorridas	98
6.9.	CENÁRIOS 7 e 8 – Variação da escolha entre os modos de transporte	99
6.10.	CENÁRIO 9 – Combinação das variações	100
7.	ESPACIALIZAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS	101
7.1.	Método das quatro etapas	101
7.1.1.	1ª Etapa: Geração de viagens.....	102
7.1.2.	2ª Etapa: Distribuição de viagens	102
7.1.3.	3ª Etapa: Escolha modal	103
7.1.4.	4ª Etapa: Alocação de tráfego	103
7.2.	Ferramentas computacionais – TransCAD	103
7.2.1.	Balanceamento de Vetores (Primeiro passo: geração de viagens)	104
7.2.2.	Modelo gravitacional (Segundo passo: distribuição de viagens).....	104
7.2.3.	Método de divisão modal (Terceiro passo: escolha modal).	106

7.2.4.	Alocação Tudo ou Nada (Quarto passo: alocação de tráfego)	106
7.3.	Aplicação.....	107
7.3.1.	1ª Etapa: Geração de viagens	107
7.3.2.	2ª Etapa: Distribuição de viagens.....	108
7.3.3.	3ª Etapa: Divisão modal	109
7.3.4.	4ª Etapa: Alocação de tráfego	110
8.	CÁLCULO DAS EMISSÕES	122
8.1.	Metodologia <i>Bottom-Up</i>	122
8.2.	Cálculo do Potencial de Aquecimento Global em CO ₂ equivalente	123
8.3.	Aplicação.....	124
9.	DISCUSSÕES.....	132
9.1.	O <i>urban sprawl</i> na cidade de São Carlos (SP)	132
9.2.	Metodologia aplicada	133
9.3.	Resultados dos cenários.....	134
9.4.	Importância das emissões no contexto atual	143
9.5.	Contribuições ao planejamento urbano	146
10.	CONCLUSÕES	148
	ANEXO A – Fatores de emissão para veículos leves novos.....	159
	ANEXO B – Fatores de emissão de N ₂ O para veículos leves de ciclo Otto	160
	ANEXO C – Fatores de emissões de CO ₂ (kg/L), metano e óxido nitroso de veículos a diesel (g/km) e autonomia para veículos a diesel (km/L).....	161
	APÊNDICE A – Planilhas utilizadas para aplicação do Método AiBi para a projeção da população da cidade de São Carlos para o ano de 2050	162

1. INTRODUÇÃO

O panorama das preocupações mundiais com a qualidade do meio ambiente sadio vem se consolidando nas últimas décadas. Nesse contexto, o conceito de desenvolvimento sustentável vem assumindo maiores proporções, colocando em pauta o reconhecimento dos limites ambientais ao crescimento. Atualmente, uma das principais agendas mundiais gira em torno da definição de estratégias e estabelecimento de ações para lidar com um grave problema ambiental e de interesse global: as mudanças climáticas.

Como recomendação do Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC), criado em 1989 para abordar o problema das mudanças climáticas e formular estratégias de resposta, foi instituída a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (CQNUMC), primeiro elemento internacional multilateral a efetivamente versar sobre as alterações no clima, o qual objetiva alcançar a “estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível tal que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático” (ORELLANA, 2010).

A CQNUMC, como subsídio ao planejamento para adaptação e mitigação às mudanças climáticas, orienta que os países realizem inventários de emissões a partir de metodologia indicada (IPCC, 2006). Os inventários devem ser orientados para os setores de energia, agropecuária, processos industriais, uso de solventes e outros produtos, tratamento de resíduos e mudança do uso da terra e florestas.

No caso do Brasil, o Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) de 2008 sinaliza para a execução de ações no âmbito das mudanças climáticas de modo harmônico aos processos de crescimento socioeconômico, no marco do desenvolvimento sustentável (PNMC, 2008, p.16), orientando para “redução das emissões de GEE antrópicas por fontes e para o fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de CO₂”.

Como resposta, no âmbito do PNMC, as medidas de caráter obrigatório aplicam-se ao “combate ao desmatamento e às políticas mandatórias relativas aos combustíveis fósseis”. Já as de caráter voluntário estão inseridas nas iniciativas do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que direciona esforços para o incentivo à eficiência energética, gestão de resíduos, produção limpa, sistemas agro-silvo-pastoris e plantio direto na agricultura, entre outras.

A partir dos dados de inventário se estabelecem os setores prioritários para o planejamento e estratégias direcionadas à adaptação e mitigação de mudanças climáticas em

cada esfera de governo. O inventário de emissões da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB realizado para o período entre 1990 e 2005, para o âmbito nacional, aponta para uma grande contribuição do setor de mudança do uso da terra e florestas nas emissões de GEEs (60,6%), seguido da agropecuária (19%) e da energia (15%) (Brasil, 2010). Por sua vez, no estado de São Paulo, o setor de energia se destaca como o maior contribuinte nas emissões, com 57,2%, seguido da agropecuária (21,3%) e da indústria (14,7%) (CETESB, 2011). Em âmbito municipal, a Agência Nacional de Transporte Público – ANTP informa que 81,9% das emissões totais na cidade de São Paulo têm como responsável o setor energético (61% das quais proveniente dos transportes), seguidos de 15,6% pelo setor de resíduos e 2,4% pelos processos industriais (ANTP, 2013).

Associadas ao quadro institucional estabelecido, as ações propostas, em âmbito de projeto, visam promover, prioritariamente, a diminuição das emissões nas fontes de emissões e de aproveitamento dos resíduos gerados, colocando em segundo plano as ações sobre as atividades-fonte em si, limitando a aplicação do conceito de eficiência energética apenas ao uso de energias renováveis (fato que é corroborado por Péti (2012) em referência ao contexto europeu de políticas de mudanças climáticas), e a melhorias em processos industriais e agro-silvo-pastoris.

Em razão de as cidades constituírem-se hoje regiões concentradoras de produção e consumo de matéria e energia e, segundo a International Energy Agency – IEA, serem responsáveis por dois terços do consumo de energia global (IEA, 2008), elas vêm sendo entendidas como o principal loco dos impactos desencadeados pelas mudanças climáticas e não podem prescindir de planos de ação específicos para seu enfrentamento.

Os planos de ação elaborados para as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro (SÃO PAULO, 2011; RIO DE JANEIRO, 2011), por exemplo, instituem projetos baseados em medidas de ‘comando e controle’, como a garantia de atendimento a padrões de emissões veiculares proporcionada por programas de inspeção veicular de automóveis ou a renovação das frotas de ônibus do transporte público municipal para garantir baixas taxas de emissões. Trata-se, entretanto, de medidas paliativas cuja prática não estimula a adoção de uma visão estratégica aplicada às cidades, que deve contemplar as outras variáveis que interferem em toda a cadeia de atividades antrópicas que geram emissões.

Nesse sentido, Kørnøv e Wejs (2013) e Wende et al. (2012) destacam a importância dos planos locais de mudanças climáticas, essencialmente devido à natureza espacial e ‘trans-setorial’ dos temas tratados, permitindo aos planos de uso e ocupação do solo e setoriais orientarem-se por estratégias e metas a serem cumpridas para a mitigação e adaptação às

mudanças climáticas. Por sua vez, Alves et al. (2008), Ojima (2007), Rompaey e Poelmans (2009) e Stone Jr. (2007) assinalam a necessidade de se repensar os padrões de expansão urbana das cidades. Principalmente no que diz respeito à eficiência energética, a tomada de decisão quanto às formas urbanas que as cidades adquirem deve ser orientada de modo a garantir a menor necessidade possível de uso de energia e de materiais (FRANK et al., 2000; STONE JR., 2007).

A eficiência energética das cidades vem sendo investigada segundo diversas abordagens. No que tange às formas espaciais que as cidades vêm adquirindo atualmente, a existência de um padrão de crescimento urbano disperso vem sendo verificada tanto em países desenvolvidos, quanto em desenvolvimento. Dentre alguns aspectos associados a este padrão, estão a elevação dos custos de serviços urbanos pelo aumento das distâncias entre as novas áreas urbanizadas e a infraestrutura existente (como o saneamento e o sistema viário), a fragmentação do uso do solo, aumento do trânsito de veículos e decorrentes congestionamentos, maior consumo de energia elétrica, problemas relacionados à segregação sócio-espacial, perda de biodiversidade e a diminuição da qualidade do ar e da água (ALVES et al., 2008; ASADI e HABIBI, 2011; OJIMA, 2007; SIERRA, 1998; STONE JR., 2007).

Corroborando com essa visão, Frank et al. (2000) apontam para uma estreita relação entre as formas de crescimento urbano disperso e os picos anuais de ozônio em metrópoles dos EUA. Ressalta a importância das abordagens de uso e ocupação do solo orientadas à gestão da qualidade do ar, no sentido de desenvolver estratégias que limitem o aumento das viagens feitas por veículos, e, portanto, que limitem as emissões diretamente na “atividade-fonte de emissões”.

Os padrões de expansão apresentados para as cidades de médio e grande porte e sua relação com a demanda por deslocamentos intraurbanos reforçam a necessidade de se investir na análise da correlação entre as formas adquiridas pelo tecido urbano, a organização espacial das cidades e sua eficiência energética. Deste modo, o presente trabalho volta-se para avaliação dos efeitos do crescimento urbano disperso na eficiência energética das cidades, por meio da elaboração de cenários de emissões de GEEs para a cidade de São Carlos (SP), tomada como representativa das cidades médias brasileiras.

2. OBJETIVO

Esta pesquisa teve como objetivo geral avaliar os impactos do crescimento urbano disperso sobre a eficiência dos deslocamentos intraurbanos de uma cidade, como proposta de auxílio ao planejamento ambiental urbano. De modo específico, o trabalho é orientado para a avaliação de cenários de emissões de GEEs por veículos motorizados levando-se em conta diferentes perspectivas para o deslocamento intraurbano segundo tendências observadas e alternativas para a organização espacial e escolhas entre os modos de transportes da população da cidade de São Carlos (SP).

3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa busca integrar marcos teóricos e metodológicos advindos de diversos campos do conhecimento. Deste modo, entende-se que o planejamento urbano deve estar atrelado ao planejamento ambiental, de forma a garantir a sustentabilidade dos centros urbanos. Como suporte a esse planejamento, é importante que abordagens sistêmicas sejam aplicadas à visão de funcionamento das cidades, de modo a facilitar a identificação dos fatores que interferem em sua sustentabilidade e garantir que a problemática urbana seja compreendida de forma ampla.

Como suporte a estas prerrogativas, a revisão bibliográfica realizada buscou um referencial teórico nos temas apresentados no capítulo 4. Inicialmente, é discutida a função e a importância do planejamento e são descritos os fundamentos dos principais instrumentos de avaliação de impacto e suas possíveis contribuições à tomada de decisão, em particular, pela ferramenta de cenários de desenvolvimento. Em seguida, discorre-se sobre o processo de formação das cidades paulistas; apresentando um panorama das discussões nacionais e internacionais em torno das causas e efeitos do padrão de crescimento disperso das cidades e, ao final, apresentando os mecanismos pelos quais este padrão tem se manifestado nas cidades brasileiras. O item seguinte apresenta uma discussão sobre a abordagem do metabolismo urbano e a eficiência energética das cidades. E, por fim, a eficiência dos deslocamentos nas cidades é discutido ao relacionar-se densidade urbana, modos de transporte e emissões.

De modo a possibilitar a aplicação do referencial teórico a um contexto real, a presente pesquisa optou por adotar a cidade de São Carlos (SP) como objeto de estudo, realizando no Capítulo 5 uma investigação sobre os padrões de crescimento urbano verificados na cidade e suas influências nas emissões urbanas através de cenários de desenvolvimento.

O Capítulo 6 apresenta a metodologia para construção dos cenários avaliados. A metodologia de construção de cenários indicada por Buarque (2003) foi aplicada ao objeto de estudo – os efeitos do *urban sprawl* nas emissões urbanas na cidade de São Carlos – definindo-se suas variáveis determinantes e condicionantes. As projeções realizadas foram definidas de acordo com os dados disponíveis e considerações sobre o crescimento observado para São Carlos, complementadas por técnicas de projeção e estimativas.

Por sua vez, no Capítulo 7 são apresentados os elementos associados à espacialização dos deslocamentos nas vias de tráfego da cidade a partir dos dados gerados anteriormente. Para tanto, um modelo sequencial de demanda foi aplicado utilizando-se ferramentas

disponibilizadas no software TransCAD, resultando na distribuição espacial dos fluxos de veículos na cidade e, por consequência, das distâncias percorridas diariamente em cada cenário.

O Capítulo 8 apresenta as emissões de GEEs associadas a esses fluxos calculados para cada cenário. Para tal, adequou-se a Metodologia *Bottom-Up*, utilizada pela CETESB para os cálculos de emissões veiculares do Estado de São Paulo, para os dados gerados pela metodologia de espacialização dos fluxos adotada. Ao final, as emissões de GEEs calculadas foram convertidas para Potencial de Aquecimento Global, medida em toneladas de CO₂ equivalente, de acordo com o que indica os princípios aplicados aos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo.

Finalmente, no Capítulo 9 é realizada a comparação dos cenários em termos de emissões resultantes, relacionando-os com os aspectos do crescimento urbano simulados para cada um deles, permitindo uma reflexão sobre os efeitos do modelo de crescimento urbano verificado atualmente nas cidades e sobre a contribuição da elaboração de cenários para avaliação de alternativas para o planejamento. Além disso, neste capítulo se discute a relevância das emissões urbanas no contexto nacional e global das políticas voltadas para as mudanças climáticas. O Capítulo 10, ao final, apresenta as principais conclusões extraídas do trabalho.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. O planejamento e a Avaliação de Impacto

A organização do espaço é característica intrínseca a qualquer grupo que se propõe a viver em conjunto, sob objetivos e normas comuns. O planejamento dessa organização com vistas a um futuro desejável representa uma forma de a sociedade exercer o poder sobre seu futuro, devendo ser um processo de definição de ações e iniciativas capazes de influenciar os resultados futuros do objeto planejado e contribuir para a construção de uma realidade desejada (BUARQUE, 2003). Segundo Banfield (1959), no processo de planejamento, os atores são guiados para atingir determinados fins, e devem selecionar os meios (ações) para que estes fins sejam atingidos, através de um processo racional de escolha da melhor adaptação dos meios aos fins. Assim, planejamento é um procedimento adotado para a avaliação de alternativas e definição de escolhas relacionadas à realização de determinada atividade ou os rumos econômicos, sociais e políticos de uma dada comunidade. O planejamento territorial nada mais é, portanto, do que a construção da configuração espacial futura almejada para o desenvolvimento das atividades humanas e satisfação das suas necessidades, bem como a definição dos meios para alcançá-la.

Atualmente, as atividades necessárias à nossa sociedade moderna, centrada no mecanismo de incentivo à produção e consumo de bens e serviços, são intensas em consumo de recursos e geração de resíduos. O reconhecimento pela sociedade dos limites naturais ao desenvolvimento adotado e as graves consequências sociais, principalmente em países em desenvolvimento (como desigualdade social e aumento da criminalidade) criou condições para a mudança de paradigma de um único modelo de desenvolvimento, abrindo possibilidade para a concepção de modelos alternativos de desenvolvimento, construídos segundo as necessidades da população. Assim, as questões ligadas às variáveis ambiental e social passaram a fazer parte do planejamento das nações, considerando benefícios desvinculados do aspecto puramente econômico (SANTOS, 2004, p. 17).

Como resposta a esse processo, a Avaliação de Impacto (AI), que é um “processo de identificação das futuras consequências de uma ação em curso ou proposta” (IAIA, 2012, p.1), surgiu, inicialmente, com foco na avaliação do meio biofísico. Entretanto, a área da AI passou, cada vez mais, a entender as ações humanas e seus efeitos a partir de abordagens

proporcionadas por outras áreas, como impactos sociais, à saúde e ao clima, ainda que de forma segmentada. Com a busca atual por uma visão mais sistêmica dos processos – sendo o conceito de sustentabilidade um dos mais recentes e integradores a serem aplicados à AI –, instrumentos mais recentes têm buscado a integração das diversas áreas, a fim de proporcionar um planejamento rumo à sustentabilidade (DUARTE et al., 2012). Tendo como guia o conceito de sustentabilidade, esses novos instrumentos têm o objetivo de realizar as avaliações segundo os princípios da viabilidade econômica, a equidade social e o equilíbrio ambiental (“tripé da sustentabilidade”).

Segundo Oliveira et al. (2009), a função da AI no processo decisório é a antecipação da provável situação futura, servindo de maneira preventiva ao tomador de decisão e podendo ser entendida como um instrumento de política pública que orienta as decisões a serem tomadas. Glasson et al., (1999) descrevem essas funções como ajuda ao processo decisório; ajuda à elaboração de projetos e propostas de desenvolvimento; e um instrumento para o desenvolvimento sustentável. De modo a cumprir tais objetivos, a AI está estruturada segundo etapas sequenciais com objetivos específicos, podendo ser utilizados diversos métodos de quantificação e previsão.

O país pioneiro a incorporar no arcabouço legal instrumentos de AI foi os EUA, que elaborou sua Política Nacional Ambiental (National Environmental Policy Act – NEPA) em 1970, estabelecendo a Avaliação de Impacto Ambiental – AIA (Environmental Impact Assessment). Esse instrumento deveria preceder decisões governamentais importantes, passando, em seguida, a ser aplicado a empreendimentos privados também. Durante as décadas de 1980 e 1990, diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento passaram a ter um arcabouço legal voltado à avaliação de impactos ambientais, os últimos impulsionados, principalmente, por agências bilaterais e multilaterais de financiamentos (SÁNCHEZ, 2006)

Inicialmente, as avaliações feitas se voltavam ao nível de projetos individuais (com a aplicação do Estudo de impacto Ambiental para projetos), demonstrando diversas limitações da sua prática para a contribuição no processo decisório (FISCHER, 2007). Como resposta, a partir de 1980, a avaliação de impacto ambiental aplicada a níveis estratégicos de tomada de decisão (planejamento) começa a consolidar-se, criando instrumentos para avaliação a nível de políticas, planos e programas.

A avaliação de impacto aplicada ao planejamento tem como objetivo antecipar as situações futuras resultantes de decisões estratégicas a serem tomadas pelo órgão planejador, ou seja, é aplicada a momentos de decisão anteriores à concepção de projetos. Dentre seus instrumentos, a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) é aplicada à avaliação ambiental de

políticas, planos e programas e, a partir do reconhecimento das limitações das avaliações apenas de cunho ambiental, recentemente, foram introduzidos instrumentos que buscam integrar outras variáveis além da ambiental; na primeira década do séc. XXI, a Avaliação de Sustentabilidade é lançada a fim de avaliar a contribuição líquida de projetos, políticas, planos e programas para a sustentabilidade (SÁNCHEZ, 2006, p.93). Assim, Sadler (1999) organiza o histórico da AI segundo três gerações, sendo a primeira relativa à aplicação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), a segunda a aplicação da Avaliação Ambiental Estratégica e a terceira, da Avaliação de Sustentabilidade. O diagrama abaixo (Figura 1) explicita a diferenciação de abrangência de aplicação dos instrumentos de Avaliação de Impacto (DUARTE, 2012):

Figura 1: Níveis de aplicação dos instrumentos de avaliação de impacto tradicionais e a avaliação de sustentabilidade

Fonte: Baseado em Pope e Dalai Clayton (2011)

No Brasil, a prática da Avaliação de Impacto é restrita à abordagem ambiental. Além disso, as avaliações ambientais aplicadas são limitadas a apenas subsidiar decisões de aprovação de projetos de empreendimentos individuais, e não os processos de planejamento e as decisões políticas estratégicas que os precedem (MMA, 2002).

Assim, o instrumento de avaliação de impacto consolidado no Brasil é o Estudo de Impacto Ambiental e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental, que é aplicado no processo de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades considerados efetiva ou potencialmente causadores de significativa degradação do ambiente, tanto no âmbito

público, quanto no privado. Uma das principais falhas apontadas nesta aplicação é o momento em que ela ocorre, em que a maioria das decisões já foram tomadas, restando às informações geradas pouca influência na mitigação dos impactos identificados.

No cenário internacional, a prática da AI voltada ao planejamento está mais consolidada, principalmente na aplicação da AAE. O uso da AAE foi impulsionado pela criação da Diretiva Europeia 42/2001 e pelo Protocolo de Kiev em AAE, ambos no âmbito da União Europeia, e pelo uso em países como Canadá e Estados Unidos (CHAKER et al., 2006). Sua utilização é muitas vezes, assim como no Brasil, atrelada às políticas de salvaguarda de instituições financeiras internacionais. A AAE, portanto, tem sido aplicada a documentos de planejamento como políticas, planos e programas regionais e locais de uso do solo (*land use plans*) e setoriais, e entre os benefícios dessa prática apontados na literatura estão os citados por Fischer (1999): (i) ampla consideração dos efeitos e alternativas de políticas, planos e programas; (ii) avaliação proativa, sendo uma ferramenta de suporte à tomada de decisão; (iii) fortalecimento da AIA de projetos; (iv) consideração sistemática dos aspectos ambientais nos níveis de tomada de decisão e (v) consulta e participação da população.

Os instrumentos de AI voltados tanto a projetos de empreendimentos e atividades individuais, quanto a documentos estratégicos, com objetivos de direcionar a tomada de decisão rumo à sustentabilidade e pautando-se em aspectos sociais, econômicos e ambientais de forma integrada, são mais recentes e estão em processo de consolidação. O mais consolidado é a experiência do Reino Unido com a *Sustainability Appraisal* (SA) (DUARTE, 2012), que consiste em um requisito legal para conduzir a elaboração e revisão dos planos de desenvolvimento ingleses, de acordo com a norma legal *Planning and Compulsory Purchase Act* (INGLATERRA, 2004). De acordo com a legislação, as autoridades locais devem conduzir SAs considerando a Diretiva Europeia da AAE como parte da avaliação feita.

Os objetivos de sustentabilidade são estabelecidos no início do processo da avaliação e todas as atividades subsequentes são direcionadas para potencializar a realização desses objetivos, checando se os objetivos e os políticas (*policies*) contidos nos documentos de planejamento conduzem aos objetivos de sustentabilidade definidos. Essa checagem é baseada nas informações contidas na base de informações (*baseline*) levantada (que contém dados históricos, atuais e de tendências futuras sobre indicadores definidos para cada objetivo listado), e avalia se os objetivos e as políticas levam a um cenário de menor, igual ou maior sustentabilidade. Ao final, opções de desenvolvimento são elaboradas e contrastadas quanto

aos benefícios que podem gerar aos objetivos de sustentabilidade, podendo ser classificados como positivo, negativo, neutro, incerto, maior ou menor (INGLATERRA, 2005).

Tanto nos instrumentos aplicados a projetos, quanto nos aplicados a políticas, planos e programas, opções alternativas devem ser avaliadas. Em geral, nos primeiros, alternativas locais e tecnológicas para a implantação e operação de empreendimentos e atividades e, no caso dos últimos, alternativas estratégicas de desenvolvimento devem ser avaliadas quanto aos impactos futuros resultantes da tomada de decisão. No âmbito de planejamento, o documento de orientação para a aplicação da Diretiva Europeia da AAE (INGLATERRA, 2005, p. 25) indica a utilização de cenários alternativos de desenvolvimento como forma de explorar as opções alternativas e seus efeitos. Em adição, o Guia para aplicação da SA na Inglaterra (INGLATERRA, 2005) propõe que os efeitos prognosticados das opções alternativas levantadas devam ser comparados entre as próprias opções, com os cenários de ‘não revisão do documento’ ou o *'business as usual'* (seguir como está sem nenhuma modificação) ou com os objetivos da SA.

4.1.1. Planejamento e cenários

Este item visa entender os benefícios que a aplicação de cenários futuros podem trazer ao planejamento e os aspectos metodológicos que envolvem esta aplicação, de modo a dar embasamento aos cenários aqui construídos. Santos (2004, p. 32), apresenta o seguinte quadro esquemático com os procedimentos relativos a cada etapa do planejamento ambiental (Figura 2).

Figura 2: Procedimentos metodológicos em planejamento ambiental

Fonte: Santos (2004)

Dentre os procedimentos metodológicos para cada fase do planejamento ambiental, a autora sugere, na fase de prognóstico, a realização de avaliações temporais de alternativas pela utilização de cenários futuros. Segundo Santos (2004, p.32), os cenários “nada mais são do que interpretações de momentos em uma paisagem dentro de uma escala temporal, visando auxiliar agentes de planejamento a compreender a dinâmica da área e os problemas ambientais consequentes”.

De modo complementar, Buarque (2003) afirma que, entre os estudos prospectivos, a técnica de cenários tem se consolidado como o principal recurso metodológico, tendo sido incorporada aos processos de planejamento estratégico tanto empresarial quanto sócio-governamental. Segundo o autor, os cenários procuram descrever futuros alternativos – lidando com eventos e processos incertos – para apoiar a decisão e a escolha de alternativas e destacam-se, portanto, como ferramentas de planejamento numa realidade carregada de riscos, surpresas e imprevisibilidades.

Diversos tipos de cenários podem ser elaborados. O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2001), por exemplo, reconhece a existência de vários cenários, destacando o tendencial, com base em projeções históricas; o exploratório, em função de futuros alternativos; e o normativo, o desejável. De forma semelhante, Santos (2004, p. 51) apresenta como possibilidades de cenários futuros (i) o tendencial, representando o que será se medidas não forem tomadas; (ii) o ideal, representando como deveria ser; (iii) o desejado, representando como gostaria que fosse; e (iv) o futuro possível, representando possibilidades alternativas de condução da realidade.

Por sua vez, Buarque (2003) faz distinção entre dois grandes conjuntos de cenários: o desejado ou normativo e os exploratórios. O normativo trata de refletir as aspirações do tomador de decisão, alertando-se que sua descrição deve ser plausível e viável, não apenas a representação de uma vontade ou esperança. Já os exploratórios podem ser diferenciados em “extrapolativos” e alternativos. Os primeiros reproduzem no futuro os comportamentos dominantes no passado, e os segundos exploram os fatores de mudança que podem levar a realidades completamente diferentes daquelas do passado e do presente. O autor destaca que, enquanto os “extrapolativos” trabalham com uma única hipótese de comportamento futuro dos condicionantes, os alternativos ampliam as possibilidades de futuro e as incertezas das hipóteses e correspondem à velocidade e à profundidade das mudanças contemporâneas.

Portanto, mantida a importância dos cenários tendenciais e normativos, vale ressaltar a perspectiva dada à tomada de decisão pelos cenários alternativos, que ao considerarem modificações de tendências, possibilitam uma visão de futuro completamente diferente do passado recente. Nesse sentido, Buarque (2003) destaca que os cenários alternativos consideram a possibilidade de que novas tendências, ainda em amadurecimento, possam ser projetadas e incorporadas no processo de construção de futuro.

Simultaneamente a esse entendimento sobre os diversos tipos de cenários e suas contribuições, deve-se atentar para o fato de que qualquer planejamento territorial deve considerar variáveis intrinsecamente ligadas ao espaço geográfico em que se manifestam.

Assim, os cenários no auxílio ao planejamento territorial necessitam de uma base de dados consistente atrelada ao território em análise. Santos (2004, p. 56) afirma que a prática de planejamento brasileiro tem selecionado métodos que enfocam demasiadamente as mudanças temporais, e são ineficientes para debater a dinâmica espacial.

Em termos metodológicos, Buarque (2003) afirma que a construção de cenários deve ser acompanhada de um modelo teórico do objeto estudado, para assegurar a plausibilidade das hipóteses e analisar a consistência das combinações delas, de modo que a descrição da realidade futura seja fundamentada. Deve-se partir de um modelo mental (teórico) para interpretar as variáveis centrais e as interações entre elas, como uma redução da complexidade da realidade.

Esse modelo mental de interpretação fundamenta a delimitação do objeto; a compreensão de seu funcionamento; as leis gerais de seu comportamento; além de embasar a definição das variáveis relevantes e o jogo de causa-efeito entre elas – responsável pelo seu movimento e pelo seu padrão de mudança. Essa maneira de compreender o objeto é fundamental para dar pertinência e consistência às hipóteses e seus desdobramentos nas variáveis que determinam o seu desempenho futuro.

A Figura 3 demonstra, de forma esquemática, a metodologia proposta por Buarque (2003). Inicialmente, elabora-se o modelo mental, identificando as **variáveis determinantes** que definem o seu comportamento. Em seguida, o movimento da realidade atual deve ser estudado de modo que sejam percebidos os processos que estão amadurecendo e que condicionam tendências e fatores que antecipam o futuro – **variáveis condicionantes**. Para mudanças incertas, a combinação de hipóteses pode gerar cenários alternativos.

Figura 3: Processo de construção de cenários alternativos

Fonte: Buarque (2003)

4.2. Formação e crescimento das cidades e o *urban sprawl*

4.2.1. Panorama da formação das cidades médias do Estado de São Paulo

O principal foco do presente trabalho consiste no processo de crescimento urbano, mais especificamente, sob a ótica das formas que os aglomerados urbanos vêm tomando e suas consequências na eficiência energética da cidade. Para tanto, faz-se necessária uma discussão, ainda que sucinta, sobre os atores e suas responsabilidades no processo de estruturação das cidades brasileiras.

O processo de urbanização recente do Brasil tem origem nos primórdios do desenvolvimento capitalista no país, com o fim do tráfico negreiro em 1850 e, daí em diante, com a introdução da relação de trabalho assalariada (DEÁK, 2011). Esse processo gerou dois fortes períodos de expansão dos centros urbanos: o primeiro, até 1915, caracterizado pela migração do campo para a cidade; o segundo, a partir de 1930, pela migração para as regiões em industrialização no país – de Minas Gerais e Nordeste para São Paulo e Rio de Janeiro .

No primeiro período migratório, os empresários precisavam prover moradia para seus trabalhadores próxima à indústria, necessário pelo contingente ainda limitado de mão-de-obra e a insuficiente rede de transporte das cidades. Dessa forma, a população recém-chegada para trabalhar nas fábricas se aglomerava nas áreas contíguas à própria indústria, configurando as “vilas operárias” (LANGENBUCH, 1971).

Com a intensificação e consolidação da indústria no segundo período migratório, ocorre o aumento da demanda por habitações populares, a introdução do ônibus como meio de transporte urbano (em substituição ao transporte coletivo sobre trilhos) e a valorização da terra urbana. Tendo garantido o excedente de mão-de-obra necessário e a locomoção de seus trabalhadores, as empresas já não precisavam arcar com os custos de seus trabalhadores. A partir daí:

As empresas transferem o custo da moradia (aquisição, aluguel, conservação do imóvel) e os de transporte para o próprio trabalhador e os custos dos serviços urbanos básicos, quando existentes, para o aparelho do Estado. Deste momento em diante, as vilas operárias começam a desaparecer e a questão da moradia passa a ser resolvida pelas relações econômicas no

mercado imobiliário. Surge no cenário urbano o que será designado ‘periferia’: aglomerados, clandestinos ou não, carentes de infraestrutura, onde vai residir a mão-de-obra necessária para o crescimento da produção (KOWARICK, 1980, p. 38).

Esse processo foi mais intenso e agressivo na cidade de São Paulo, hoje configurando a Região Metropolitana de São Paulo. Entretanto, o desenvolvimento industrial do interior paulista foi também relevante no período, formando o que Lima (2007) chama de rede de intercidades. Nas últimas décadas, essas cidades do interior paulista vivem outro momento de expansão, com a chegada de muitas indústrias - antes localizadas na RMSP. Dadas as especificidades de cada cidade, segue-se o mesmo padrão de urbanização.

De forma concreta, esse padrão de crescimento se dá por meio da proposital construção de novos loteamentos em terras mais baratas na periferia das cidades, deixando-se espaços vazios para sua posterior valorização - à custa de investimentos públicos em infraestrutura e transportes. Como resultado, produz-se um território urbano fragmentado, de intensas desigualdades sócio-espaciais: “os terrenos e moradias são mais caros nas áreas melhor servidas” e “a distribuição espacial da população [...] acompanha assim a condição social dos habitantes” (KOWARICK, 1980).

Nesse processo, o mercado imobiliário é quem controla a ocupação do território por meio da diferenciação do espaço urbano: supervalorização de porções da cidade em relação a outras, cunhada na extrema heterogeneidade da infraestrutura. Desse modo, a população mais pobre fica restrita a áreas periféricas sem acesso a bens e serviços determinantes da qualidade de vida urbana; enquanto a população mais abastada tem acesso às áreas mais bem localizadas,

Na década de 70, com a popularização do automóvel e a escassez de novos terrenos na cidade consolidada - e sua consequente valorização -, começam a aparecer loteamentos residenciais de classe média e alta afastados da infraestrutura existente. A partir daí, intensifica-se o processo de expansão dispersa das cidades brasileiras, como será mais detalhado nos dois itens subsequentes.

Considerando os interesses do mercado privado, dos setores produtivos e da população na produção do espaço urbano, o Estado teria a função de mediá-los, evitando os impactos negativos da dinâmica do mercado imobiliário. Entretanto, ao analisar os impactos da urbanização ocorrida no decorrer do século XX e as iniciativas do governo brasileiro em consolidar o planejamento urbano no país - pela criação de leis, órgãos gestores e fundos

financeiros –, Deák (2001, p. 171) afirma que “vistosos em sua concepção, pouco deles [os planos] era efetivamente ‘implantado’ e o crivo entre ‘teoria’ e a ‘prática’ de planejamento (urbano) tornava-se tão gritante que não podia mais ser ignorado”.

Sobre o espaço fragmentado e diferenciado, a ineficiência dos instrumentos de planejamento municipal e a ausência do Estado no controle do uso e ocupação do solo fazem com que investimentos urbanos se transformem em mecanismo propulsor à urbanização desenfreada e dispersa (DEÁK, 2001). Dentre esses investimentos, autores de diversos países citam: estradas; centros comerciais e shoppings; universidades e centros de pesquisa; rodovias e avenidas com corredores comerciais; baixo preço do transporte público; áreas industriais; e até as políticas públicas de habitação.

Nesse sentido, faz-se importante reiterar: a gestão pública amarrada a interesses privados específicos do mercado imobiliário e o próprio mercado imobiliário são os agentes propulsores desse padrão de urbanização, sendo uma forma de distorção do entendimento do processo atribuir a um empreendimento – de infraestrutura ou não – o caráter de agente. Certos empreendimentos se tornam atrativos à ocupação – nos moldes discutidos neste capítulo – sobretudo pelo território fragmentado e diferenciado das nossas cidades, e só ocorrem pois a ação (ou inação) do poder público permite, ou, muitas vezes, incentiva.

Dadas as especificidades de cada sociedade e seu contexto histórico, esse padrão de crescimento urbano – extensão territorial e dispersão – vem ocorrendo em diversas cidades do mundo (Américas, Europa e Ásia) e, ao atentar-se à forma que o tecido urbano adquire, é chamado por muitos autores de *urban sprawl*.

4.2.2. *Urban sprawl*: definições, causas e efeitos

Diversos trabalhos buscam investigar a problemática das formas que a expansão urbana vem assumindo nas cidades atualmente, cujo principal padrão verificado nas últimas décadas está associado ao fenômeno do *urban sprawl* (“expansão urbana dispersa”). Cientistas estadunidenses foram os primeiros a investigar o *urban sprawl*, por se tratar de um padrão verificado primeiramente nos Estados Unidos durante o rápido crescimento suburbano ocorrido nas décadas de 1950 e 1960, época em que o modelo de urbanização adotado foi chamado de *American Dream Way of Life*. Esse modelo é caracterizado como de “baixa densidade de desenvolvimento além da borda de serviços e empregos, que separa onde as

peças vivem de onde fazem compras, trabalham, fazem atividades de lazer e de onde ficam as instituições de ensino” (SIERRA CLUB, 1998), “exigindo carros para se deslocar entre as zonas sendo, o uso intenso de automóveis, uma causa e uma consequência da dispersão urbana” (OJIMA, 2007)

Na Europa, embora o processo histórico e social de formação dos centros urbanos tenha resultado na sua extrema densificação nas décadas de 1960 e 1970 (associada à vitalidade dos centros urbanos europeus), o padrão de dispersão da expansão urbana pode ser verificado atualmente, sendo foco de investigação (ROMPAEY; POELMANS, 2009; SERRA et al, 2008).

Em países em desenvolvimento esse padrão também tem sido observado. Segundo ANGEL et al (2005), a globalização dos mercados e dos padrões de consumo tem levado à reprodução de padrões urbanos de assentamento nos moldes do “sonho norte-americano”.

Diante da importância global que tal tema vem assumindo atualmente, diversas investigações científicas estão sendo empreendidas, apresentando diferentes focos e abordagens. Algumas pesquisas investigam a definição do conceito do ‘*urban sprawl*’, suas causas e consequências, bem como os modos de controle (ASADI; HABIBI, 2011; EWING et al, 2002); outras avançam nos métodos para se caracterizar o padrão de crescimento disperso, desenvolvendo índices e indicadores de dispersão (EWING et al, 2002; FANG et al, 2005); há os que focam nas consequências socioambientais pela abordagem das vulnerabilidades associadas às populações que vivem nas áreas periféricas das cidades, em geral, em países em desenvolvimento (ALVES, 2008; ROMERO et al, 2012); e há os que focam nas consequências ambientais desse crescimento, considerando principalmente a perda de espaços abertos, a perda da biodiversidade e perda de qualidade do ar (ANGEL et al, 2012; STONE JR., 2008).

Nesse sentido, a literatura aponta para algumas definições para o fenômeno, dentre as quais, estão as seguintes: “uma forma específica do crescimento urbano com baixa densidade, dispersa, auto-dependente, e com impactos ambientais e sociais” (ROMPAEY; POELMANS, 2009); padrões de uso do solo descentralizado, caracterizado por baixas densidades populacionais e “esquemas de projeto auto-orientado” (STONE JR., 2008); “desenvolvimento urbano de baixa densidade, dependente do automóvel, além dos limites das áreas concentradoras de serviços e empregos” (SIERRA CLUB, 1998).

Os resultados gerais obtidos por Asadi e Habibi (2011) na revisão bibliográfica feita pelos autores sobre o tema do *urban sprawl*, com enfoque nas suas características, causas,

consequências e modos de controle estão sintetizados na Tabela 1, que contém, também, características relacionadas ao fenômeno segundo outros autores e agências internacionais consultados.

Tabela 1: Características do fenômeno do *urban sprawl*

REFERÊNCIA	CARACTERÍSTICA
Agência Ambiental Europeia	Padrões físicos de expansão de baixa densidade de grandes áreas urbanas, sob condições de mercado, principalmente para as áreas agrícolas circundantes
Downs	Desenvolvimento com extensão ilimitado, baixa densidade residencial e comercial, desenvolvimento tipo “ <i>leapfrog</i> ” ¹ , fragmentação de poderes sobre o uso da terra entre muitas localidades pequenas, domínio de transporte por veículos automotores particulares, falta de planejamento centralizado ou o controle dos usos da terra, desenvolvimento comercial generalizado, grandes disparidades fiscais entre localidades, separação de tipos de uso da terra em diferentes zonas, e a confiança sobre o processo de triagem para proporcionar habitação para famílias de baixa renda
Brueckner	Crescimento espacial excessivo
Godon & Richardson	Desigualdade de renda crescente, insegurança no trabalho, decadência do centro da cidade, aumento de custos habitacionais, longos trajetos, problemas ambientais, extinção de espécies, perda de terras agrícolas. sentimento de isolamento, pressão arterial elevada, tensão muscular, intolerância, desorientação psicológica, e até mesmo assassinato e caos
Ewig	Densidade residencial, mistura de vizinhança de casas, empregos e serviços, fortalecimento de centros de atividades e dos centros urbanos, e acessibilidade à rede viária
Galster	Densidade, continuidade, concentração, aglomerados, centralidade, nuclearidade, usos mistos, e proximidade
Song and Zenou	Desenvolvimento de baixa densidade na fronteira das cidades
Sierra club	Desenvolvimento de baixa densidade para além das bordas da área providas de serviços e empregos, zoneamento, maior uso de carros
Glaeser	Descentralização de empregos
Pendall	Baixa densidade, dispersão, desenvolvimento <i>leapfrog</i> ou isolado
Angle	Distância, aumento da extensão de uso do solo, densidade, fragmentação e franjas de expansão
Kahn	Descentralização de empregos
Fulton	Densidade
Couch	Mudanças na densidade urbana a diferentes distâncias do centro da cidade, a proporção de desenvolvimento que ocorreu para além da área urbana existente, o volume e modo de demanda por transportes

Fonte: Asadi e Habibi (2011),(traduzido)

¹ Desenvolvimento do tipo *leapfrog* é definido como a urbanização de áreas sem planejamento de instalação da infraestrutura necessária, criando a necessidade de se estender os equipamentos de infraestrutura até essas áreas.

Pode-se perceber a repetição de diversos aspectos apontados para a caracterização do fenômeno, como baixa densidade de ocupação, interferência nas distâncias, ocupação de grandes áreas, etc.

Quanto às causas do urban sprawl, o mesmo estudo concluiu que, embora as causas apontadas para o fenômeno sejam diversas e ainda não bem definidas, os fatores mais importantes que encorajam a população a adotar esse padrão de uso e ocupação do solo são: aumento da população e dos ingressos financeiros, baixo preço da terra e acesso à casa própria, baixo preço dos sistemas de transporte, promoção de uma rede de deslocamentos pendulares entre moradia e trabalho, novos centros de empregos nos subúrbios, maior utilização de infraestruturas, subsídios e serviços públicos (Tabela 2):

Tabela 2: Causas associadas ao urban sprawl segundo revisão de literatura

FATORES	CAUSAS
Econômicos	Crescimento econômico e aumento da renda Preço da terra Subsídios
Demografia	Crescimento populacional
Habitação	Mais espaço por pessoa Diversidade de escolha
Transportes	Propriedade de carros particulares Baixas despesas pendulares Melhorias nos sistemas de transporte Disponibilidade de estradas
Problemas internos à cidade	Altos níveis de tributação Infraestruturas danificadas Menor número de centros públicos Apartamentos pequenos Falta de espaço aberto Problemas sociais
Outros	Inovação tecnológica, equipamentos públicos e infraestruturas

Fonte: Asadi e Habibi (2011, traduzido)

Quanto aos efeitos negativos desse padrão urbano sobre a vida das populações urbanas, os efeitos que aparecem recorrentemente na literatura são: a elevação dos custos de serviços urbanos pelo aumento das distâncias entre as novas áreas urbanizadas e a infraestrutura implantada (estradas, esgoto, drenagem, gerenciamento de resíduos sólidos e sistemas viários); fragmentação do uso do solo e perda de biodiversidade e de qualidade do ar e da água; aumento das viagens, da utilização de veículos particulares e de congestionamentos; segregação sócio-espacial; maior uso de energia, diminuição do

compartilhamento do modo de vida urbana e do trabalho nos centros metropolitanos (ALVES, 2008; ANGEL et al., 2007; ASADI; HABIBI, 2011; OJIMA; HOGAN, 2008; SIERRA CLUB, 1998; STONE JR., 2008).

4.2.3. *Urban sprawl* no Brasil

As cidades brasileiras também têm sido alvo de investigações e, no que tange ao *urban sprawl*, o fenômeno vem sendo pesquisado no sentido de identificar os mecanismos pelos quais ele se desenvolve, e seus efeitos sobre a vida urbana no Brasil.

Costa (2007) afirma que, nas cidades brasileiras, o modelo tradicional de crescimento que se acentuou no século XX era pautado na ocupação das áreas centrais pelos ricos e na pobreza cada vez mais empurrada para a periferia. Mas afirma que, depois dos anos 1970, surgiram em algumas cidades processos de ocupação semelhantes ao modelo americano (suburbanização), com condomínios ricos em terrenos afastados.

Em adição, Polidoro et al., (2012) afirma que o *urban sprawl* desenvolve-se nas cidades brasileiras pela (i) criação de novos loteamentos destinados à construção de conjuntos habitacionais, empreendidos pelo Estado ou por loteadores privados direcionados às faixas de renda média e baixa; ou (ii) pela criação de subúrbios de alta renda, como é o caso dos condomínios horizontais nos moldes do padrão norte-americano, ambos tipos de ocupação localizados distantes do centro consolidado. Sobre essas tendências, Ojima (2008) afirma que elas possuem reflexos importantes para toda a sociedade brasileira no que se refere à reestruturação do espaço urbano, pois alteram as tensões sociais dentro do tecido urbano, com espaços intraurbanos mais fragmentados e segregados; e dinamizam e orientam os processos de estruturação urbana, pois passam a ser o parâmetro para o padrão de consumo do espaço urbano.

Assim, as regiões periféricas, distantes dos centros consolidados das aglomerações urbanas e que antes eram reservadas aos conjuntos habitacionais populares, passam a ser o sonho de consumo de uma variada parcela da população, traduzindo as aspirações de uma determinada qualidade de vida (OJIMA², 2006, p. 7).

² OJIMA, R. A Produção e o consumo do espaço nas aglomerações urbanas brasileiras: desafios para uma urbanização sustentável. Trabalho apresentado no Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 15., 2006, Caxambú.

Polidoro et al, (2012) segue explicitando as características específicas dessa ocupação, que divide as classes sociais no território das cidades. Afirma que, embora tanto os ricos quanto os pobres sintam os impactos ambientais dessa ocupação, os efeitos sobre as classes com menor renda são mais marcantes. Essa população sofre a restrição no acesso à infraestrutura, por encontrar-se em regiões distantes e com menor investimento do poder público em redes de abastecimento de água, de coleta de esgoto, resíduos, energia elétrica e transporte público; “são afastados do centro consolidado retentor do comércio, dos serviços e das oportunidades de empregos” (POLIDORO et al, 2012, p.35), aumentando o deslocamento diário até seus locais de trabalho, realizado por um transporte público com poucos investimentos do Estado. Embora o fato da população de maior renda também estar ocupando áreas distantes seja amenizado pelo acesso ao uso do automóvel e pelas ruas e avenidas em que trafegam estarem, em geral, em melhores condições, esta população sofre, principalmente, com o congestionamento viário.

Outro elemento de dispersão verificado nas cidades, em termos de regulação do uso do solo, refere-se ao aparecimento de regiões que concentram “corredores de comércio”, com uso estritamente comercial e de baixa densidade, usualmente localizados no entorno de rodovias dentro do perímetro urbano ou em ruas especializadas em serviços, que contribui para o aumento das distâncias.

O efeito desse processo é um fenômeno de periurbanização que se refere à ampliação da mancha urbana em direção às suas periferias (OJIMA; HOGAN, 2008), muitas vezes concentrada no entorno ou em localidades próximas a anéis de integração (CARBONELL; YARO, 2005). Nos interstícios desse modo de ocupação, os vazios urbanos, caracterizados por áreas não loteadas, ocorrem frequentemente e são, principalmente, propriedade de agentes imobiliários. A formação desses vazios é intrínseca à expansão das cidades e, apesar de estarem localizados em áreas com estrutura completa, não são utilizados no tempo presente, com o objetivo de especulação e valorização da terra.

Além dos efeitos da segregação sócio-espacial sobre as interações sociais urbanas e as restrições de acesso à infraestrutura impostas às classes de mais baixa renda, pode-se citar que o crescimento da cidade de forma espalhada nas periferias contribui para a ineficiência das cidades. O aumento das distâncias impõe a necessidade de redes de infraestrutura mais amplas, aumentando o consumo de espaço, energia e materiais; e o aumento dos deslocamentos entre as moradias e os serviços e comércios contribui para aumentar o uso de transportes motorizados e o consumo de combustíveis para o transporte, aumentando as

emissões de poluentes e prejudicando diretamente a qualidade ambiental das cidades e a saúde da população.

Conclui-se, portanto, que o padrão de expansão chamado de *urban sprawl* é hoje encontrado em diversas partes do mundo, e que, embora ainda não haja um consenso no meio científico sobre suas causas, características e modos de controle, a gama de efeitos já verificados em diversos estudos aponta para a necessidade de se alertar para esse processo, de modo a impulsionar um planejamento das cidades a partir de maiores conhecimentos dos processos e ferramentas para a condução de uma gestão urbana atenta às alternativas possíveis a esse modelo de desenvolvimento.

4.3. Eficiência energética das cidades pela abordagem do metabolismo urbano

Os sistemas urbanos vêm sendo discutidos, dentre as diversas escolas que se debruçam sobre o tema, pela abordagem do ‘metabolismo urbano’ (WOLMAN, 1965). Este conceito concebe os processos de fluxos de entrada e saída de matéria e energia como inerentes aos centros urbanos, os quais consomem uma grande variedade e quantidade de recursos e os processam de acordo com as atividades realizadas. Apropriando-se dessa abordagem, Girardet (1992, 1999) advoga que as cidades sustentáveis devem seguir o chamado ‘metabolismo circular’, em que as entradas devem ser minimizadas e (re)utilizadas com máxima eficiência, e os resíduos gerados devem ser reduzidos, reutilizados e reciclados, tornando-os mínimos também (Figura 4).

Figura 4: Os fluxos em um metabolismo urbano linear em comparação ao circular

Fonte: Baseado em Girardet (1999)

Iniciativas de quantificação dos fluxos urbanos vêm sendo realizadas desde a década de 1960, em que Wolman (1965) utilizou dados nacionais sobre água, comida e combustíveis utilizados, juntamente a taxas de produção de esgoto, resíduos sólidos e poluentes do ar para determinar a entrada per capita e taxas de escoamento para uma cidade hipotética de um milhão de pessoas nos Estados Unidos. Os primeiros estudos realizados para cidades reais foram inovadores por considerarem uma natureza interdisciplinar dos tópicos. Duvigneaud e Smet (1977), por exemplo, realizaram um estudo do metabolismo de Bruxelas, considerado o único que foi além de quantificação de insumos energéticos antropogênicos para incluir um equilíbrio de energia natural. A Figura 5 mostra a forma esquemática de como estes fluxos têm sido representados pelos estudos realizados.

Figura 5: Fluxos inerentes ao metabolismo urbano da cidade de Bruxelas.

Fonte: Duvigneaud e Smet (1977)

Na evolução dos conceitos de fluxos urbanos e de metodologias aplicáveis à sua identificação e quantificação, a abordagem do Metabolismo Urbano passou a ser entendida sob a perspectiva da íntima implicação dos fluxos urbanos no desenvolvimento sustentável das cidades, não somente em termos de energia, mas em termos de materiais também. Como consequência, cada vez mais autores vêm realizando análises de fluxos urbanos buscando entender os componentes dos sistemas urbanos com mais detalhe e definir metodologias para quantificá-los, permitindo um entendimento maior sobre as entradas, as saídas e

transformações que ocorrem em um dado sistema (GONZÁLEZ et al., 2012; GUERRERO; GUIÑIRGO, 2008,).

Segundo Kennedy et al. (2011), o metabolismo urbano inclui informações pertinentes sobre a eficiência energética, a ciclagem de materiais, a gestão de resíduos e da infraestrutura em sistemas urbanos. Os parâmetros do metabolismo urbano geralmente constituem bons indicadores de sustentabilidade, pois são: cientificamente válidos (com base em princípios de conservação de energia e massa), representativos, responsivos, relevantes para os planejadores urbanos e para a população em geral, são feitos com base em dados comparáveis ao longo do tempo, compreensíveis e sem ambiguidades (MACLAREN, 1996).

As métricas propostas inicialmente para quantificar esses fluxos se baseavam em energia, como a energia solar equivalente. Durante a década de 1990, entretanto, os métodos de análise de fluxos de materiais passaram a ser representá-los os estoques e fluxos de recursos em termos de massa. Como diversas cidades e comunidades do mundo passaram a ter o objetivo de reduzir as emissões de GEEs, diversos trabalhos quantificam os fluxos de materiais em termos de emissões. Uma das dificuldades encontradas nesta aplicação é a determinação sobre as emissões que são geradas fora dos limites da cidade, mas fazem parte da cadeia de produção e consumo que as compõe. De qualquer modo, a expressão dos fluxos urbanos em termos de emissões exige medidas de consumo de energia, fluxos de materiais e resíduos inerentes ao metabolismo urbano. Resultados de um estudo das emissões de GEEs de quarenta cidades são apresentados na Figura 6.

City or metropolitan region	Definition	Year	Population	Total emissions million t CO ₂ e	Per capita emissions t CO ₂ e
Athens	Metropolitan region	2005	3,989,000	41.57	10.4
Barcelona	City	2006	1,605,602	6.74	4.2
Bologna	Province	2005	899,996	9.97	11.1
Brussels	Capital region	2005	1,006,749	7.55	7.5
Frankfurt	Frankfurt/Rhein Main	2005	3,778,124	51.61	13.7
Geneva	Canton	2005	432,058	3.35	7.8
Glasgow	Glasgow and the Clyde Valley	2004	1,747,040	15.30	8.8
Hamburg	Metropolitan region	2005	4,259,670	41.52	9.7
Helsinki	Capital region	2005	988,526	6.94	7.0
London	Greater London	2003	7,364,100	70.84	9.6
Ljubljana	Osrednjeslovenska region	2005	500,021	4.77	9.5
Madrid	Comunidad de Madrid	2005	5,964,143	40.98	6.9
Naples	Province	2005	3,086,622	12.49	4.0
Oslo	Metropolitan region	2005	1,039,536	3.63	3.5
Paris	Ile de France	2005	11,532,398	59.64	5.2
Porto	Metropolitan region	2005	1,666,821	12.14	7.3
Prague	Greater Prague	2005	1,181,610	11.03	9.3
Rotterdam	City	2005	592,552	17.64	29.8
Stockholm	Metropolitan region	2005	1,889,945	6.88	3.6
Stuttgart	Metropolitan region	2005	2,667,766	42.57	16.0
Torino	Metropolitan region	2005	2,243,000	21.86	9.7
Veneto	Province	2005	4,738,313	47.29	10.0
Austin	City	2005	672,011	10.48 ^a	15.6 ^a
Calgary	City	2003	922,315	16.37 ^a	17.7 ^a
Denver	City and county	2005	579,744	11.08	19.4
Los Angeles	County	2000	9,519,338	124.04	13.0
Minneapolis	City	2005	387,711	7.03 ^a	18.3 ^a
New York	City	2005	8,170,000	85.87	10.5
Portland	City	2005	682,835	8.47 ^a	12.4 ^a
Seattle	City	2005	575,732	7.82 ^a	13.7 ^a
Toronto	Greater Toronto Area	2005	5,555,912	64.22	11.6
Washington	District of Columbia	2000	571,723	11.04 ^a	19.3 ^a
Mexico City	City	2000	8,669,594	35.27 ^a	4.1 ^a
Rio de Janeiro	City	1998	5,633,407	12.11	2.1
Sao Paulo	City	2000	10,434,252	14.22	1.4
Bangkok	City	2005	5,658,953	60.44	10.7
Beijing	Beijing Government administered area	2006	15,810,000	159.00	10.1
Delhi	Metropolitan area	2000	15,700,000	20.65 ^a	1.6 ^a
Kolkata	National capital territory	2000	13,200,000	17.80 ^a	1.1 ^a
Shanghai	Shanghai Government administered area	2006	18,150,000	211.98	11.7
Seoul	Seoul City	1998	10,321,496	42.03 ^a	4.1 ^a
Tianjin	Tianjin Government administered area	2006	10,750,000	119.25	11.1
Tokyo	Tokyo metropolitan government admin. area	2006	12,677,921	62.02	4.9
Cape Town	City	2006	3,497,097	40.43	11.6

Figura 6: Emissões de GEE para cidades e regiões metropolitanas, compilado de diferentes documentos com diferentes metodologias

Fonte: Kennedy et al., (2011)

Muitos dos estudos atuais buscam formular sugestões de melhorias em relação à eficiência de fluxos na elaboração de políticas e na tomada de decisão. A Ecologia Industrial vem ganhando destaque em suas análises sobre os fluxos de energia e materiais e previsões de impactos ambientais de atividades e processos produtivos. Seu foco está voltado principalmente às atividades industriais, com base em que as principais atividades antrópicas modificadoras dos recursos naturais atualmente são as industriais.

Entretanto, há autores que advogam que o mesmo princípio utilizado por essa escola para a comparação de processos industriais ao funcionamento de um organismo, pode ser usado para a comparação entre processos em escala urbana ou regional e um organismo. Nessa linha, as metodologias da Ecologia industrial vêm sendo utilizadas em diversas escalas (Figura 7) buscando influenciar as políticas urbanas locais a partir da identificação de melhorias de eficiência que poderiam ser feitas em equipamentos ou serviços urbanos, como o Sistema de Resíduos Sólidos Municipal de Barcelona (GABARRELL et al., 2012), a

eficiência em energia e água em museus (RIERADEVALL et al., 2012), parques públicos (JORDI et al., 2007), pavimentos das calçadas (FARRENY, 2008), entre outros.

Figura 7: Ferramentas e escalas de aplicação da Ecologia Industrial

Fonte: Apresentação do Prof. Dr. Joan Rieradevall na Conferência Internacional “EcoInovação para a Melhoria Ambiental de Produtos e Serviços.”, EESC-USP, São Carlos -SP, Brasil, 2012

Gabarrell et al. (2012) reforçam as contribuições ao planejamento urbano que podem ser alcançadas pela espacialização dos fluxos. Os autores buscam contribuir para a política de gerenciamento de resíduos urbanos propondo um quadro de Análise Espacial de Fluxos de Materiais (AEFM), que permite simulações do estado de um sistema mediante a introdução de alterações nas variáveis que alimentam os modelos, permitindo a representação da forma como os fluxos se comportariam em determinadas circunstâncias pré-definidas. As circunstâncias pré-definidas são os cenários alternativos propostos para dada situação.

Seguindo sobre aspectos metodológicos, a integração de duas ferramentas - Análise de Fluxos Materiais (AFM) e Análise de Ciclo de Vida (ACV) – vem sendo discutida em termos de quantificação de fluxos e avaliação dos impactos relacionados a esses fluxos.

A AFM volta-se para o cálculo dos fluxos de materiais em um sistema, seus estoques e processos de transformação internos, e as saídas resultantes para outros sistemas externos na forma de resíduos e poluição. A ACV é utilizada para fornecer a quantificação dos efeitos diretos e indiretos da transformação e utilização de recursos durante as etapas da cadeia produtiva, levando em consideração, também, os impactos ambientais associados (PINCETL et al., 2012).

Segundo Barles (2007), o inventário de fluxos de materiais em uma das etapas da ACV auxilia na identificação dos impactos diretos e indiretos das cadeias produtivas de uma cidade e para além de suas fronteiras, considerando o movimento de materiais através do sistema urbano. A integração entre as ferramentas também é apresentada por Rincón et al. (2013) em um estudo sobre a sustentabilidade da construção de edifícios em termos do materiais e energia utilizados e o consequente impacto ambiental, empregando a AFM para avaliar a quantidade de material total utilizada e a ACV para avaliar o impacto resultante sobre o meio ambiente.

Venkatesh e Brattebø (2011) empregam os resultados da análise de fluxos de materiais (AFM) aplicada à cadeia do ciclo de vida do sistema de esgoto em Oslo, Noruega, para a previsão dos impactos de 14 alternativas para a configuração da tubulação. Rochat et al. (2013) avaliaram cenários alternativos para a gestão dos resíduos de PET (politereftalato de etileno) em Tunja, Colômbia, utilizando a AFM para o cálculo dos fluxos na escala da cidade, abrangendo as etapas de distribuição, venda e descarte dos produtos que contém PET, enquanto a ACV abrangeu as etapas de extração, produção reciclagem dos produtos (que ocorriam fora das fronteiras da cidade, chegando à escala nacional).

Conclui-se que as análises de fluxos de materiais e energia são ferramentas importantes na tomada de decisão no planejamento das cidades. As fronteiras de análise devem ser bem definidas, e as informações geradas podem ser associadas ao território, de modo a permitir a identificação de ineficiências, assim como de potencialidades, ao longo dos processos inerentes aos fluxos caracterizados. Em conjunto com formulação de hipóteses alternativas ou cenários, pode-se realizar análises consistentes de quais modificações podem ser feitas e simular o efeito dessas modificações.

4.4. Eficiência energética dos deslocamentos intra-urbanos: relação entre emissões, densidade urbana e modos de transporte

A presente pesquisa busca analisar a eficiência energética das cidades sob o ponto de vista dos deslocamentos diários realizados pela população, para a geração de dados e análises que contribuam para o estabelecimento de estratégias objetivando minimizar a necessidade de consumo de energia inerente às atividades urbanas.

Nesse contexto, foram levantados estudos que avaliam as relações entre o uso do solo urbano, o comportamento de viagens das populações e a necessidade de utilização de energia para o deslocamento diário da população (combustíveis) no setor de transportes, avaliando as consequências dessas características sobre as emissões de poluentes nas cidades e a contribuição para o aquecimento global.

Em estudo realizado sobre emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada discute as relações entre uso e ocupação do solo e forma urbana e os modos de transportes. O estudo afirma que:

Cidades espraiadas com baixa densidade populacional apresentam menos eficiência no seu sistema de transporte público do que as cidades mais compactas e com grande densidade populacional, o que significa que o transporte individual se torna a base dos deslocamentos cotidianos da população (IPEA, 2011, p. 36).

Nesses termos, Dodman (2009) desenvolveu um trabalho em que avalia os padrões de emissões por cidade e por setor de atividades, discute as implicações das diferentes abordagens metodológicas para a produção dos inventários de emissões, identifica os principais motivos dos altos níveis de produção de GEEs nas cidades e examina o papel e o potencial das cidades para reduzir essas emissões. Dentre as diversas análises, o autor faz uma comparação entre os resultados de inventários realizados para diversas cidades norte americanas, europeias, asiáticas e da América Latina. Sobre os dados para o setor de transportes, o autor afirma que a “densidade urbana é um dos fatores mais importantes que influenciam a quantidade de energia utilizada no transporte privado de passageiros, e, portanto, também tem um efeito significativo sobre as emissões de gases de efeito estufa” (Dodman, 2009, p. 193).

Dentre as cidades incluídas no estudo, com exceção das cidades chinesas (com altos níveis de emissões no setor industrial), as cidades mais densamente povoadas utilizam menos energia para o transporte privado de passageiros e têm, geralmente, emissões mais baixas de GEEs per capita (Tabela 3).

Tabela 3: Utilização de energia por passageiro no transporte privado, densidade urbana e emissões de GGEs para diversas cidades do mundo

Energia utilizada por pessoa no transporte individual (lista em ordem crescente)	Densidade urbana (lista em ordem decrescente)	Emissões de GEEs per capita (lista em ordem crescente)
Shangai	Seoul	São Paulo
Beijing	Barcelona	Barcelona
Barcelona	Shangai	Seoul
Seoul	Beijing	Tóquio
São Paulo	Tóquio	Londres
Tóquio	São Paulo	Beijing
Londres	Londres	Nova Iorque
Toronto	Toronto	Shangai
Nova Iorque	Nova Iorque	Toronto
Washington DC	Washington DC	Washington DC

Fonte: Dodman (2009)

O artigo conclui, ainda, que as emissões do setor de transportes em cidades brasileiras têm contribuições percentuais altas quando comparadas a outras cidades (Tabela 4), e que estes valores vem crescendo com relativa importância nas nossas cidades.

Tabela 4: Contribuição do setor de transportes nas emissões totais de cidades do mundo

Cidade	Contribuição (%)
São Paulo	59,7
Rio de Janeiro	29,7
Barcelona	35
Londres	22
Toronto	36
Nova Iorque	23
Washington DC	18

Fonte: Dodman (2009)

Como panorama entre cidades dos Estados Unidos, Europa e Ásia, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP - United Nations Environment Programme) elaborou um gráfico que demonstra que as cidades norte-americanas, que tem as características de serem espalhadas, com baixa densidade populacional e com sistema de transporte dependente do transporte privado individual, apresentam gasto de energia *per capita* muito superior às cidades europeias e asiáticas (Figura 8).

Figura 8: Densidade populacional *versus* consumo de energia per capita em cidades do mundo

Fonte: UNEP (2008)³ apud IPEA (2011)

Uma apresentação mais detalhada sobre os tipos de cidades encontradas atualmente quanto às suas estruturas de uso e ocupação do solo e dos modos de transportes utilizados foi feita pelo ‘Guia de orientação sobre como transformar cidades, melhorando a eficiência energética em sistemas de transportes urbanos’, publicado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2013). No documento, são apresentados quatro tipos de cidades: as cidades em desenvolvimento (*developing cities*); as cidades espraiadas (*sprawling cities*); as cidades congestionadas (*congested cities*); e as cidades multi-modais (*multi-modal cities*); e, na Figura 9, elas são representadas a partir das relações entre uso do solo e comportamento de viagens inerentes a elas.

³ UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). GRID-Arendal. Urban density and transport-related energy consumption. Maps and Graphics Library, 2008. Disponível em: <<http://maps.grida.no/go/graphic/urban-density-and-transport-related-energy-consumption>>. Acesso em: 30 Sept. 2010.

Figura 9: Contexto das cidades quanto ao uso e ocupação do solo urbano e o comportamento de viagens

Fonte: International Energy Agency (IEA, 2013)

Em termos gerais, o documento afirma que as cidades em desenvolvimento estão experimentando um aumento na demanda por serviços de transporte e rápido crescimento da motorização privada. A combinação entre conveniência, combustíveis baratos e subsidiados, serviços de transporte público ineficientes e o aumento das distâncias devido à expansão urbana incentivam o crescimento da motorização privada. Como resultado, as cidades em desenvolvimento geralmente experimentam o aumento do congestionamento rodoviário, o aumento dos acidentes com viagens e mortes, poluição local do ar e as grandes disparidades no acesso aos transportes, emprego e serviços sociais.

Já as cidades espalhadas tendem a ter baixa densidade e intensa expansão urbana e suburbana. Nelas, a utilização dos transportes públicos e de modos não motorizados tende a ser baixa, enquanto que o transporte motorizado privado tende a ser o principal meio de viagem. O congestionamento local é característico de cidades espalhadas, especialmente durante horários de pico, além da infra-estrutura rodoviária tender a requerer pesados e de manutenção, como resultado de redes viárias extensas com um fluxo de veículos intenso. A poluição do ar local e a segurança rodoviária passam a ser preocupantes nessas cidades.

Em contraponto, as cidades congestionadas, geralmente, têm densidades médias a altas e centros urbanos consolidados, embora possa existir expansão urbana em áreas periféricas. Elas têm redes de transporte extensas e uma divisão equilibrada entre os modais de transporte público. No entanto, inúmeras causas, incluindo o transporte público ineficiente e com baixos investimentos, os subsídios aos combustíveis, estacionamento gratuito ou subsidiado, e altos níveis de financiamento para redes viárias, podem contribuir para a preferência em se utilizar veículos motorizados particulares, que em conjunto ao tráfego intenso inerente a essas cidades compactas, podem levar a um impasse diário para seus sistemas de transportes.

E as cidades multi-modais, têm, tipicamente, altas densidades, fortes núcleos urbanos, transporte público eficiente e incentivos aos transportes não motorizados. O desenvolvimento do uso do solo misto acompanhado de um alto nível de serviços de transporte público significa que os viajantes em geral têm um bom acesso aos modos de maior eficiência energética e uma escolha de diferentes modos, dependendo de suas preferências e necessidades. Muitas cidades multimodais têm dedicado espaços para modos de transporte energeticamente mais eficientes, como corredores de ônibus e de bicicleta. Além disso, muitas vezes essas cidades têm implementado políticas que desestimulam o transporte particular, tais como limitações no desenvolvimento e utilização de estacionamentos, esquemas de taxas rodoviárias⁴ e zonas permitidas somente ao trânsito de pedestres.

Segundo essa abordagem analítica, conclui-se que as características de espraiamento das cidades, com o consequente aumento das distâncias, e os incentivos ao transporte particular e/ou a falta de incentivos ao transporte público e não motorizado levam a cidades congestionadas e, conseqüentemente, com altas taxas de emissões locais. Em contraposição, as cidades multi-modais são mais compactas e estimulam o uso do transporte coletivo e não motorizado em detrimento do transporte particular, configurando possibilidades para que a população escolha pelo modo mais eficiente de realizar suas viagens.

No Brasil, embora o tema de emissões seja uma preocupação crescente da população e das instituições governamentais e não-governamentais (com criação de metas de redução, inventários de emissões, plataformas de sustentabilidade urbana), inseridos no contexto de mudanças climáticas, a relação deste tema com a eficiência energética das cidades ainda é incipiente, encontrando-se poucos trabalhos e aplicações sobre o tema.

Já em termos de emissões futuras, a elaboração de cenários futuros busca antecipar condições urbanas que resultam em determinadas quantidades de emissões. Esta antecipação pode auxiliar tanto a prever a quantidade de emissões futuras caso as atuais tendências se mantenham, quanto para prever quais variáveis podem ser modificadas para que se alcance o cenário almejado.

Um exemplo encontrado foi o trabalho de Rosa et al. (2009), que realizaram uma primeira estimativa das emissões de CO₂ para o Brasil decorrentes do transporte urbano de passageiros para o ano de 2050. Para tal análise, foi elaborado um cenário inicial para 2008; um cenário tendencial, em que as variáveis mantinham-se iguais às de 2008; e três cenários

⁴ Taxas rodoviárias são encargos cobradas pela utilização de estradas, com base em distância ou tempo, taxas de congestionamento e encargos destinados a desencorajar o uso de certas classes de veículos, fontes de combustível ou veículos mais poluentes.

alternativos. O trabalho considerou duas variáveis para realizar as projeções e poder compará-los: a mobilidade urbana – considerada como uma média das distâncias percorridas pela população diariamente – e a substituição dos combustíveis fósseis por renováveis – gasolina por etanol e o diesel por biodiesel. Sendo que, para os cenários alternativos, o trabalho simula que o Brasil terá o padrão de mobilidade europeu e que os combustíveis fósseis seriam totalmente substituídos pelos renováveis, fazendo combinações entre essas simulações.

Trata-se, portanto, de uma tentativa de entender a influência que certas políticas e/ou tendências teriam sobre as emissões resultantes dos deslocamentos realizados pela população. Ao mesmo tempo, trata-se de um trabalho que analisa o recorte urbano, somente, sem levar em consideração os deslocamentos realizados nas rodovias do país. Entretanto, o tema de eficiência energética dos deslocamentos não é objeto do trabalho.

5. CARACTERIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO URBANO DA CIDADE DE SÃO CARLOS

5.1. Histórico de urbanização

Inicialmente, o processo de crescimento descrito no item 4.2.1 se concretizava principalmente nas maiores cidades do país, que em algumas décadas se tornariam metrópoles. Entretanto, no processo de inserção dos países em um capitalismo globalizado, as cidades devem funcionar como redes que conectam os mercados de forma unificada, através das telecomunicações, transportes e ciência.

Deste modo, no decorrer do desenvolvimento do capitalismo no Brasil, ficou evidente a necessidade que se constituísse um mercado unificado, diante do entrave da economia colonial que era composta por diversos territórios fracionados (DOZENA, 2008). Nesse contexto, diversas cidades do interior paulista ganham maior significado e se tornam mais comunicadas entre si e com as grandes metrópoles.

A cidade de São Carlos localiza-se no centro do Estado de São Paulo, a 232 km de sua capital, e tem sua origem estreitamente ligada à expansão do café no Estado, nos moldes do modelo econômico da monocultura exportadora.

Nesse contexto, e a partir da ampliação da fronteira agrícola em meados de 1900, fez-se necessária a criação de um local próprio – próximo às fazendas produtoras de café e localizado em uma etapa anterior ao embarque do produto para o exterior – e São Carlos surgiu como um novo centro urbano, vinculado ao poder econômico e político da classe proprietária local. À medida em que aumentava a produção do café, expandiam-se suas atividades econômicas, sociais e culturais e crescia sua população, permitindo que, em um momento posterior ao declínio do café, a cidade viesse a dar um arranque considerável em sua produção industrial.

O avanço da industrialização em São Carlos acentuou a divisão do trabalho entre cidade e campo e, em 1940, a população urbana ultrapassou a rural, atingindo uma taxa de 52,30 %, bastante superior à média nacional de 26,40% e muito próxima da taxa de urbanização estadual de 52,60 %; com a contribuição dada pelo aumento da migração campo – cidade na década de 1940, a taxa de urbanização em São Carlos chegou a 64,70 % em 1950 e, em 1960, atingiu 75,10 %.

Lima (2007) fez uma descrição histórica do processo de expansão urbana da cidade:

- 1857 – 1929: expansão concentrada e contínua e o controle era realizado pela câmara, com aplicação de códigos de postura.
- 1930 – 1959: controle da expansão era realizado pelo poder executivo, com parâmetros urbanísticos de incentivo à expansão urbana.
- 1960 – 1977: controle realizado por meio de um conjunto de leis urbanísticas, as leis de loteamentos, zoneamento e edificações (nesta época aumentou o poder de ação dos loteadores).

Foram usada três formas de parcelamento:

- arruamento, que era realizado e controlado pela Câmara Municipal, no século XIX;
- loteamento (principal);
- parcelamento espontâneo, que são parcelamentos que surgiram sem controle da prefeitura ou da Câmara.

A autora conclui:

Com efeito, o arcabouço legal implantado desde 1962 acabou não resistindo às pressões especulativas do mercado imobiliário e, no processo de expansão após 1977, tornou ainda mais evidente o triunfo dos loteadores. A cidade descontínua e segregada de hoje não é fruto de um acaso, mas de uma série de ações legitimadas pelo poder público local e aceitas pela sociedade (LIMA, 2007, p. 171).

5.2. Caracterização geral atual

O Município de São Carlos está localizado na região central do Estado de São Paulo (próximo a cidades como Ribeirão Preto, Araraquara, Piracicaba e Rio Claro), ocupa uma área de aproximadamente 1.140 km² e abriga cerca de 236 mil habitantes (IBGE, 2013). A imensa maioria dessa população (cerca de 96%) vive na área urbana, distribuída atualmente em uma área inferior a 60 km².

Figura 10: Mapa com a localização do município de São Carlos no estado de São Paulo e o detalhe para a área urbana, o perímetro urbano e as principais rodovias e estradas do município

São Carlos insere-se no contexto de cidades de importância regional, especificamente por haver se tornado um polo científico e tecnológico, apresentando crescimento populacional urbano intenso nas últimas décadas.

Pela Figura 11, verifica-se que a taxa geométrica de crescimento anual do município de São Carlos tem sido maior que a mesma taxa para o Brasil e para o estado de São Paulo.

Figura 11: Taxa geométrica de crescimento populacional 1940-2010 do Brasil, Estado de São Paulo e São Carlos

Fonte: Censos IBGE (1950, 1960, 1970, 1980, 1991, 2000, 2010)

Em termos de área urbanizada, o município apresenta altas taxas de crescimento, chegando a crescer 62,5% entre 1990 e 2011 (Tabela 5).

Tabela 5: Evolução das áreas urbanizadas de São Carlos

Período	Área urbanizada no período (ha)	Área urbanizada acumulada (ha)	Crescimento (%)	
			Total	Média por década
Até 1930	-	423,5	-	-
1930 – 1959	927,6	1.351,1	254,62	87,8
1960 – 1977	789,8	2.140,9	58,45	34,3
1978 – 1989	967,7	3.108,6	45,2	41
1990 – 2002	971,6	4.080,2	31,25	26
2003 – 2011	971,5	5.051,7	23,81	29,7

Fonte: Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano – SMH DU, do Município de São Carlos (2011)

As preocupações com esse intenso crescimento devem girar em torno de se garantir uma gestão do poder público efetiva neste processo, que garanta a apropriação do espaço mantendo a qualidade de vida necessária à população que ali reside e desenvolve suas atividades, pautada sempre na equidade social e ambiental. Entretanto, o histórico de formação da cidade feito por Lima (2007) demonstra a omissão do poder público na gestão do território urbano, em que as decisões sobre padrões de urbanização foram, por muitos anos, definidos pelos próprios loteadores, sem uma legislação vigorosa neste aspecto.

Atualmente, o Plano Diretor de São Carlos encontra-se em fase de revisão, oferecendo informações importantes sobre a cidade. A etapa de Leitura Técnica do município elaborada nesta revisão cita informações contidas no diagnóstico feito para a elaboração daquele plano: “O principal conflito na forma de ocupação do território de São Carlos é de natureza ambiental. A cidade cresceu sobre as áreas impróprias, ocasionando graves problemas de erosão, drenagem e de proteção dos mananciais” (PMSC, 2013, p. 56). E adiciona que a situação verificada era “reforçada pela legislação de parcelamento do solo extremamente permissiva, que não exigia dos agentes privados a execução de obras de infraestrutura básica” (PMSC, 2013, p. 56).

Leonelli (2003) afirma que é por intermédio do parcelamento do solo, sendo com a abertura de franjas de expansão de loteamentos e desmembramentos de glebas que a cidade tem se produzido espacialmente, demonstrando que este crescimento tem sido avaliado caso a caso, segundo os interesses dos loteadores, em detrimento a um planejamento mais sistemático que avalie as condições da cidade para sua ocupação. Faz-se necessário, também,

que tal planejamento tenha como horizonte os interesses da coletividade, que devem ser resguardados pelo poder público, defende o autor.

5.3. Padrões do *urban sprawl*

Diante das discussões realizadas sobre os padrões de crescimento verificados nas cidades atualmente, e da intenção desta pesquisa em avaliar empiricamente seus efeitos nas emissões, buscou-se identificar elementos desses padrões na cidade de São Carlos. Além disso, a identificação desses elementos corrobora a validade da proposta feita pela pesquisa de se avaliar cenários alternativos de crescimento para a cidade.

Assim, neste subitem, apresentam-se os seguintes aspectos do *urban sprawl* verificados em São Carlos: a ocupação dispersa no solo em virtude de novos projetos urbanos, a ocupação de diferentes classes sociais nas periferias; conexões dessas áreas por estradas e avenidas em que se desenvolveram corredores comerciais e de serviços; a falta de investimentos em transporte público necessários para atender estas novas áreas periurbanas; e o uso intenso de automóveis como principal modo de transporte.

Assim, como forma de avaliar os padrões de forma urbana que a cidade vem assumindo, como etapa inicial do presente projeto, realizou-se uma análise sobre os tipos de crescimento ocorridos em São Carlos entre 1990 e 2010, baseando-se na metodologia de Shi *et al.* (2012)⁵. Os tipos de crescimento urbano em que se baseia a metodologia são: *infilling* (“preenchimento”), que ocorre quando um “buraco” entre fragmentos de área já urbanizada é preenchido por uma nova área urbanizada; *outlying growth* (“expansão afastada”), em que um novo fragmento urbano se estabelece de modo isolado em relação às áreas urbanizadas anteriormente; e *edge-expansion* (“expansão de borda”), quando uma nova área urbana se estabelece conectada à borda da área já urbanizada. Assim, o intuito foi avaliar quantitativamente a expansão da cidade em termos de dispersão, com novas áreas pouco ou mesmo não conectadas à cidade consolidada. A Figura 12 e a Tabela 6 mostram os resultados obtidos:

⁵ Estudo realizado em disciplina do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Universidade de São Paulo, sobre os tipos de crescimento de São Carlos. Co-autoria do mestrando do dito programa de pós-graduação, Tiago Rodrigues.

Figura 12: Tipos de crescimento urbano verificados para São Carlos (SP), no período 1990-2010 (autoria própria)

Tabela 6: Quantificação dos tipos de crescimento urbano verificados para São Carlos (SP) no período 1990 – 2010 (autoria própria).

Quantificação dos tipos de crescimento urbano nos períodos 1990-2000 e 2000-2010.			
Ano	Tipos de Crescimento	Área (km ²)	Porcentagem (%)
1990-2000	Preenchimento	1,917	12,40
	De borda	5,926	38,33
	Afastado	7,619	49,28
	Total	15,462	100,00
Ano	Tipos de Crescimento	Área (km ²)	Porcentagem (%)
2000-2010	Preenchimento	1,096	9,79
	De borda	6,659	59,46
	Afastado	3,444	30,75
	Total	11,199	100,00

Através deste estudo inicial, foi possível verificar que, durante o período analisado, os tipos de crescimento em forma de “Afastamento” e de “Borda” foram os grandes responsáveis pela dispersão da malha urbana do município, totalizando 87,61% na primeira década e

90,21% na segunda. Os tipos de crescimento citados impulsionaram a existência da tipologia de ocupação em forma de “Preenchimento”, pois promovem a abertura de espaços vazios com instalações iniciais de infraestrutura .

Portanto, segundo parâmetros de forma urbana, a cidade de São Carlos apresenta certo grau de “espalhamento”, padrão que se manteve nas últimas duas décadas, embora as novas áreas de crescimento do tipo afastamento tenham diminuído a pouco menos da metade na segunda década do estudo.

De acordo com PMSC (2013), ocorreu uma redução em torno de 40% dos 1.340 ha de grandes áreas de vazios urbanos detectados em 2003 (SÃO CARLOS, 2005), e, ainda, afirma que os instrumentos do Plano Diretor romperam com a lógica de sucessivas ampliações do perímetro urbano pela administração municipal ocorrida nas últimas décadas. Pode-se concluir que a cidade cresce de forma dispersa ao mesmo tempo em que preenche seus espaços vazios.

A existência de lotes vazios e subutilizados é intrínseca ao processo de expansão especulativa das cidades. Não há dados atualizados sobre a situação atual desses imóveis levantados pela prefeitura municipal em 2003 no diagnóstico do município realizado para elaboração do Plano Diretor, entretanto, para um dos cenários elaborados nesta pesquisa, foi feita uma identificação de lotes vazios na cidade através de imagem de satélite, mostrando que ainda existem, pelo menos, 732,5 hectares de lotes vazios na cidade (item 6.2.8).

Em adição, é possível fazer uma previsão sobre o crescimento futuro de São Carlos através da localização dos loteamentos e condomínios existentes no cadastro da prefeitura que já estão em fase de implantação, que recém foram aprovados, que estão em análise ou que apenas solicitaram diretrizes para ocupação (Figura 13). A localização destes empreendimentos na cidade aponta para tendências de intensificação de um padrão urbano mais disperso, com fragmentos urbanos cada vez mais afastados das áreas centrais e com pouca acessibilidade, embora esteja prevista, também, a ocupação de vazios dentro do perímetro urbano.

Figura 13: Expansão urbana prevista de acordo com pedidos de loteamentos e condomínios à Prefeitura de São Carlos

Fonte: Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano, SMH DU (2011)

Após a análise das formas urbanas, foi avaliado como estão distribuídas a população e suas atividades principais no tecido urbano da cidade. Os seguintes mapas de densidade populacional demonstram como a população tem passado a residir nas áreas periféricas da cidade nas últimas décadas, acompanhando o padrão de migração centro-periferia identificado (Figura 14).

Figura 14: Mapas comparativos com as densidades de São Carlos em 1991, 2000 e 2010.

Fonte: PMSC (2013).

Observa-se que as áreas centrais tiveram sua densidade populacional diminuída entre os anos de 1991 até 2010, enquanto que as áreas periféricas ganharam população, aumentando suas densidades populacionais.

Essas migrações ocorreram tanto com a população de baixa renda quanto com a de alta renda. PMSC (2013) constatou que, na última década, as periferias dos setores sul e sudoeste reafirmam sua ocupação pelo contingente mais pobre da população, dando continuidade ao processo verificado desde a formação industrial da cidade. Ressalta-se que esta ocupação se deu com altas densidades, a partir de ocupação e conjuntos habitacionais sociais, sobre áreas frágeis do ponto de vista geotécnico e em áreas com apenas uma via de acesso asfaltada e com acesso restrito ao transporte público (CARRARA, 2010).

Nos vetores de expansão norte e noroeste, consolida-se a nova tendência de concentração de empreendimentos de alto padrão residenciais e não residenciais, constituindo áreas de baixa densidade para além da Rod. Washington Luis e ao longo da Rod. Eng. Tales de Lorena Peixoto Junior. Em conjunto com os loteamentos populares já existentes nessas áreas, como por exemplo, o Santa Angelina, São Carlos I, II, III e IV, consolida-se uma expansão territorial por empreendimentos que fogem totalmente ao “padrão periférico” pré-

existente. Em função desse processo, nessas regiões ocorrem empreendimentos voltados para as populações de alta, média e baixa renda, que, embora fisicamente próximos, na prática estão separados por muros, portarias e acessos viários que definem os territórios e condições de vida diferenciados das populações ricas e pobres.

Enquanto a segregação socioespacial da cidade é evidenciada pela localização periférica descrita das moradias, pode-se verificar que os pontos de comércio e serviços (66% dos empregos formais em 2010) e as escolas localizam-se, principalmente, na região central da cidade, oferecendo maior concentração de oportunidades de empregos e estudos nessa região. Como exceção está o setor industrial, que representava 26% dos empregos formais em 2010 e se encontra mais pulverizado pela cidade, tendo maior concentração na região sul (Figura 15). Percebe-se, também, a formação mais recente de corredores comerciais e de serviços ao longo de avenidas fora da região central, como é o caso da Av. Miguel Petroni e da Av. Antonio Blanco (Figura 16).

Figura 15: Mapa com os pontos de localização das escolas, dos comércios e das indústrias na cidade de São Carlos atualizado para 2011

Fonte: PMSC (2013)

Figura 16: Mapa com a distribuição dos usos mistos da cidade – pontos de comércio e serviços e indústrias

Fonte: Diagnóstico do município para o Plano Diretor

A implantação de centros comerciais afastados da região central e no entorno da Rodovia Washington Luis é destinada a atender aos novos padrões de consumo. Como coloca Ojima (2008, p. 50), “para dar vazão às demandas de consumo da sociedade moderna de modo a satisfazer a lógica de deslocamento orientado para automóveis, demandando, cada vez mais, a utilização de vias de acesso “rápidas”.

Pode-se dizer que em São Carlos, essa configuração que combina áreas de moradia com baixas densidades populacionais nas áreas periféricas da cidade e atividades de atração de deslocamentos concentradas na região central da cidade e centros de compras localizados

em áreas periféricas, também ocorre atrelada ao uso particular do automóvel. Os dados históricos de frota automóveis na cidade mostra que entre 2005 e 2012 a frota de automóveis cresceu 52,24% (DENATRAN, 2012) e a distribuição de utilização entre os modos de transporte para 2007 demonstra a importância do transporte individual (36,56%), embora a cidade ainda apresente um alto percentual de viagens realizadas a pé, com 30,36% (Figura 17).

Figura 17: Distribuição percentual de utilização dos modos de transporte na cidade de São Carlos, 2007.
 Fonte: Pesquisa O/D realizada para São Carlos pelo Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, STT –EESC – USP, 2007

A PMSC (2013, p. 142) destaca a prevalência crescente do automóvel como meio de transporte em detrimento do ônibus e que “o conjunto de instrumentos do Plano Diretor não é suficiente para regular os efeitos perversos desse processo”.

Além disso, o documento evidencia as relações entre uso do solo e modos de deslocamentos:

É notável como no vetor de expansão noroeste, onde há uma concentração de condomínios de alto padrão, prevalecem as viagens por automóvel, e como, no setor sudoeste, onde há concentração da população de baixa renda em assentamentos de padrão periférico, prevalecem as viagens por ônibus (PMSC, 2013, p. 142).

A configuração espacial verificada contribui para uma diminuição da eficiência energética da cidade, pois infere um aumento das distancias entre os locais de residência e de atividades, aumentando as distâncias dos deslocamentos. No que tange diretamente às emissões de GEEs, esse processo também impulsiona um aumento nos deslocamentos motorizados, aumentando as emissões urbanas.

O cenário apresentado sobre as tendências de padrões de uso do solo e do comportamento de viagens reforça a necessidade de se prever a influência das tendências observadas para as formas a serem adquiridas pelo tecido urbano de São Carlos quanto às emissões de poluentes nos próximos anos.

O fato do principal instrumento de planejamento do uso do solo em nível municipal não lidar com previsões no tocante às mudanças climáticas, corrobora a relevância e as contribuições que o presente projeto pode trazer ao desenvolvimento estratégico da cidade, fornecendo base de dados e prognósticos quanto a alternativas de padrões possíveis de desenvolvimento.

6. CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS PARA A CIDADE DE SÃO CARLOS

6.1. Considerações iniciais

A construção dos cenários propostos pela presente pesquisa se deu com base no referencial teórico levantado sobre o *urban sprawl* e os mecanismos pelos quais se manifesta atualmente nas cidades brasileiras (item 4.2). Juntamente à identificação e caracterização desses mecanismos para o caso da cidade de São Carlos (Item 5), esses estudos embasaram a formulação explícita dos princípios teóricos de interpretação do objeto para o qual a presente pesquisa propõe a construção de cenários futuros. E, portanto, aplicando-se a metodologia sugerida por Buarque (2003), descrita no Item 4.1.1, as variáveis ligadas a esse objeto foram definidas e relacionadas entre si, de modo a definir os cenários. Os resultados da aplicação de tais procedimentos estão descritos a seguir.

O objeto de estudo da presente pesquisa é definido como: os efeitos do *urban sprawl* nas emissões urbanas para o caso da cidade de São Carlos. De acordo com a metodologia adotada, as **variáveis determinantes** do processo consistem nos efeitos que o *urban sprawl* infere às emissões; enquanto as **variáveis condicionantes** são os processos intrínsecos ao *urban sprawl* que levam a esses efeitos.

Identificou-se que os principais efeitos do *urbans sprawl* que influenciam as emissões urbanas, e que, portanto, constituem-se as variáveis determinantes do objeto em análise, são:

- o aumento das distâncias percorridas internamente à cidade para realização das principais atividades diárias da população; e
- o aumento do uso do transporte individual em detrimento do uso do transporte coletivo.

Os fatores que interferem nas distâncias percorridas diariamente pela população são o número de viagens motorizadas e a distância entre os locais de moradia e de realização das atividades diárias; e o fator que interfere na utilização de cada modal de transporte é a escolha da população pelo modo de transporte que melhor satisfaz as suas necessidades.

Assim, as variáveis condicionantes desses fatores foram identificadas como:

1. configuração da área urbana da cidade;
2. locais de moradia da população;

3. locais onde a população realiza suas atividades;
4. escolha da população em residir perto dos locais onde desenvolvem suas principais atividades; e
5. escolha da população entre os modos de transporte⁶.

Essas variáveis condicionantes foram relacionadas entre si e avaliadas para a cidade de São Carlos, buscando entender suas causas e seu comportamento no passado e no presente, de modo a possibilitar uma projeção para o futuro (itens 4.2 e 5). A síntese do conhecimento adquirido - de modo a relacionar as variáveis condicionantes e identificar tendências futuras para a construção dos cenários - está descrita abaixo:

1. Em termos de configuração da área urbana: foi identificado que as cidades estão crescendo de modo mais disperso. Nas cidades brasileiras, esse processo tem se dado através de abertura de loteamentos e condomínios horizontais, principalmente nas franjas das cidades, tanto pelos preços mais baixos na aquisição da terra, quanto, em alguns casos, por uma recente busca por um modo de vida sem os incômodos urbanos. Em São Carlos, foi identificada uma taxa de crescimento de área maior que a do estado de São Paulo e que, nas últimas duas décadas, a maior parte desse crescimento se deu nas bordas da cidade, inclusive, em áreas descontínuas à cidade, o que configura um crescimento disperso da cidade.
2. Quanto aos locais de moradia da população: considerando o processo de crescimento da cidade descrito, a população tem ocupado áreas afastadas da cidade já consolidada, resultando no aumento das distâncias percorridas para as atividades que desenvolvem. Esse processo foi identificado em São Carlos pela localização dos loteamentos e condomínios, em sua grande maioria, exclusivamente residenciais (furtando-se a induzir o uso misto nessas áreas), localizados nas bordas e em descontinuidade com a cidade.
3. Quanto à localização das atividades realizadas pela população: identifica-se que nesse processo de expansão predominantemente residencial nas bordas e em áreas afastadas à cidade, sem o desenvolvimento de novos polos urbanos, os locais onde a população realiza suas atividades diárias seguem concentrados nas áreas centrais da cidade. Em São Carlos esse fato é visível pelo mapa de locais de atividades comerciais, de serviços e de estudos principalmente, sendo os locais de empregos industriais distribuídos em áreas periféricas da cidade (resultante do próprio processo de

⁶ Fatores predominantes para escolha modal: tempo de viagem, conforto e preço; as quais variam segundo as políticas públicas de investimento e de privilégio de um modal sobre outro.

formação industrial da cidade no século XX, que culminou na periferização da população de baixa renda, e pelos incômodos causados por atividades industriais de modo geral).

4. Escolha da população quanto aos locais de residência e onde desenvolvem suas principais atividades: foi verificado que não adianta apenas diminuir a distância entre os locais de residência e de atividades da população. É necessário que esta tenha reais possibilidades de residir próximo a suas atividades, ou, desenvolver suas atividades próximo a suas residências. Nota-se que o modelo urbano atual incentiva o processo inverso, em que, por mecanismos de mercado, as população são motivadas a residir afastadas dos locais onde se concentram os polos de atividades da cidade.
5. Escolha do modo de transporte: o uso do transporte individual é visto como causa e consequência do *urban sprawl* (OJIMA, 2007); pois, ao mesmo tempo que o incentivo atual a esse modo de transporte⁷ aumenta sua utilização e possibilita que as pessoas morem afastadas da cidade⁸, ele é necessário para que esse padrão se mantenha. Logo, conclui-se que é intrínseco ao *urban sprawl* um aumento na utilização do transporte individual nas cidades. Em São Carlos, esse processo foi evidenciado pelas vias de tráfego que foram construídas para conectar os novos locais de residência afastados da cidade consolidada, pelo aumento da frota de automóveis na cidade nas últimas décadas e as consequências apontadas por PMSC (2013).

Em seguida, foi definido como as variáveis condicionantes seriam representadas na construção dos cenários, partindo-se da realidade concreta da cidade e de acordo com os dados disponíveis. Assim as seguintes variáveis foram utilizadas para a construção dos cenários futuros propostos: (i) a alocação espacial de novas áreas urbanas; (ii) a distribuição espacial da moradia da população (produtores de deslocamentos); (iii) a distribuição espacial das principais atividades realizadas pela população (atratores de deslocamentos); (iv) padrão de viagens mais curtas realizadas pela população (v) a porcentagem de uso dos modais de transporte individual (automóvel) e coletivo (ônibus)⁹.

⁷ O incentivo ao uso do transporte individual é sustentado pelas infraestruturas rodoviárias instaladas, pelos incentivos econômicos e pela mentalidade de conforto e *status* atrelada a ele.

⁸ Cidade entendida aqui como o conjunto de infraestrutura urbana (transporte e serviços) e pólos urbanos (porção da cidade com concentração da oferta de emprego e serviços).

⁹ A presente pesquisa optou por considerar o uso do automóvel como meio de transporte individual, por dificuldades metodológicas e de obtenção de dados para o caso das motocicletas para a cidade de São Carlos; e como coletivo o uso do ônibus, pois é o único modo de transporte coletivo oferecido pela cidade de São Carlos. A presente pesquisa pretende orientar e organizar uma metodologia de análise para os deslocamentos urbanos de forma geral, podendo ser adaptada à realidade de distintas cidades e aos transportes oferecidos.

Definiu-se 2010 como o ano base e o ano horizonte dos cenários futuros como 2050. O critério utilizado para definir o ano base foi a disponibilidade de dados do censo do IBGE 2010, que fornece informações de população, domicílio, renda, entre outros, por setor censitário, e da Pesquisa O/D realizada para São Carlos em 2007, e que, por proximidade de período, foi utilizada para 2010.

O ano horizonte foi definido para a possibilidade de comparação dos resultados com os compromissos de redução de emissões que o Brasil assumiu para as próximas décadas.

As emissões foram calculadas em termos de CO₂ equivalente, pois, além de facilitar a comparação dos cenários por gerarem apenas um resultado, engloba o potencial de aquecimento dos principais GEEs (Gases de Efeito Estufa), parâmetro que vem sendo utilizado pelos inventários e relatórios nacionais e internacionais.

Além disso, é importante ressaltar que, das viagens totais realizadas diariamente na cidade, foram consideradas apenas as viagens por motivo de trabalho e estudos¹⁰, pois representam os principais motivos, constituindo 70,5% das viagens totais realizadas em São Carlos (Figura 18).

Figura 18: Gráfico com a distribuição de viagens segundo o motivo para a cidade de São Carlos
Fonte: Pesquisa O/D, 2007

Feitas estas considerações iniciais, as variáveis condicionantes identificadas foram relacionadas entre si e projetadas para a construção dos cenários descritos na Figura 19, de modo a comparar seus efeitos sobre as variáveis determinantes e, portanto, sobre as emissões.

¹⁰ Considerou-se como principais atividades realizadas pela população apenas trabalho e estudo, pois representam cerca de 70,51% das viagens realizadas em São Carlos (Pesquisa O/D, 2007) e pela facilidade de obtenção de dados sobre esses temas que possibilitem realizar estimativas e projeções.

Figura 19: Fluxograma de construção dos cenários

Além do **cenário base** construído para 2010, dois cenários futuros iniciais foram estabelecidos: um tendencial, seguindo a tendência atual de dispersão verificada para a cidade de São Carlos (**‘cenário 1 - tendencial’**); e outro, alternativo, que se caracteriza por um modelo de distribuição espacial compactado (**‘cenário 2 - compacto’**). Em seguida, foram gerados mais sete cenários alternativos simulando-se, para cada um desses cenários iniciais, outros dois aspectos: a alocação de novos pontos com potencial de atração dos deslocamentos distribuídos de forma homogênea pela cidade, resultando na alteração do padrão de atração dos deslocamentos (**‘cenários 3 e 4- variação das atividades’**); e o aumento do uso do transporte coletivo em detrimento do individual, considerando suas diferentes contribuições para as emissões (**‘cenários 7 e 8 - variação modal’**). Através dos resultados preliminares dos cenários, notou-se que a variação de distribuição dos pontos de atração de viagens resulta em um aumento dos deslocamentos para os cenários e, portanto, decidiu-se por simular que a população passe a trabalhar e estudar em locais mais próximos de suas moradias, condição conseguida pela limitação das distâncias percorridas nos deslocamentos realizados. Este cenário foi nomeado **‘variação das atividades e diminuição das distâncias’** (**cenários 5 e 6**). Ao final, os aspectos simulados para a ‘variação polos e distâncias’ e ‘variação modal’ foram aplicados em conjunto para o cenário inicial ‘compacto’, gerando um cenário chamado **‘combinação das variações’** (**cenário 9**), em que o padrão de

crescimento disperso é revertido e o transporte coletivo é mais utilizado do que o individual, e, assim, as variáveis condicionantes apontam para uma diminuição das distâncias percorridas na cidade e uma diminuição na poluição emitida pelos deslocamentos.

A Tabela 7 apresenta as nomenclaturas utilizadas ao longo da pesquisa para referir-se a cada cenário e a Tabela 8 caracteriza os cenários sinteticamente segundo as variações feitas em cada variável condicionante.

Tabela 7: Nomenclaturas utilizadas para os cenários ao longo da pesquisa.

Cenário	Nomenclatura do cenário
Cenário 0	Base 2010
Cenário 1	Tendencial
Cenário 2	Compacto
Cenário 3	Tendencial - variação atividades
Cenário 4	Compacto - variação atividades
Cenário 5	Tendencial - variação atividades e distâncias
Cenário 6	Compacto - variação atividades e distâncias
Cenário 7	Tendencial - variação modal
Cenário 8	Compacto - variação modal
Cenário 9	Combinação variações

Tabela 8: Caracterização de cada cenário segundo cada variável condicionante.

Cenário	Configuração da área urbana	Distribuição espacial da população	Variação da distribuição espacial das atividades	Escolha dos locais de residência e atividades	Escolha entre modos de transporte
Cenário 1	mais dispersa	mais dispersa	mais centralizadas	mantém	aumenta individual
Cenário 2	mais compacta	mais compacta	mais centralizadas	mantém	aumenta individual
Cenário 3	mais dispersa	mais dispersa	mais distribuídas	mantém	aumenta individual
Cenário 4	mais compacta	mais compacta	mais distribuídas	mantém	aumenta individual
Cenário 5	mais dispersa	mais dispersa	mais distribuídas	diminui	aumenta individual
Cenário 6	mais compacta	mais compacta	mais distribuídas	diminui	aumenta individual
Cenário 7	mais dispersa	mais dispersa	mais centralizadas	mantém	aumenta coletivo
Cenário 8	mais compacta	mais compacta	mais centralizadas	mantém	aumenta coletivo
Cenário 9	mais compacta	mais compacta	mais distribuídas	diminui	aumenta coletivo

6.2. Dados disponíveis

6.2.1. Censo 2010 com dados agregados por setor censitário

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divulga dados, a cada 10 anos, relativos ao perfil da população e às características de seus domicílios, divididos em setores censitários (IBGE, 2010). Esses setores, com alguns possíveis ajustes, são comumente aproveitados como Zonas de Análise de Tráfego, unidade espacial utilizada em ferramentas de planejamento de transportes. Nesta pesquisa, foram utilizados os dados de população e domicílios, disponibilizados em forma de planilhas associadas espacialmente a um arquivo digital vetorial contendo as áreas dos setores censitários para a cidade de São Carlos.

6.2.2. Empregos formais municipais

A Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE) fornece diversas análises e estatísticas socioeconômicas e demográficas para estados, regiões e municípios. Na presente pesquisa foi utilizado o dado de empregos totais do município de São Carlos em 2010 e sua divisão em porcentagem nas categorias comércio, serviços e administração pública e indústria (SEADE, 2014).

6.2.3. Pesquisa origem/destino

A Pesquisa O/D é um sistema de obtenção de informações importante para o planejamento urbano, principalmente na área de transporte e uso do solo. Através de entrevistas pessoais, fornece um completo roteiro individual de viagens para um dia típico. Contém as origens e os destinos das viagens, motivos, horários, modos de transporte utilizados, tempo gasto, dentre outras informações relevantes ao objetivo associado, gerando dados muito próximos à realidade sobre o comportamento das viagens realizadas pela população de uma cidade. O Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, STT –EESC – USP realizou uma Pesquisa O/D em São Carlos. Os dados gerados pela pesquisa foram disponibilizados em planilhas formato *Excel* associados a um arquivo digital que contém as chamadas Zonas de Tráfego, que consiste numa divisão do território da cidade em áreas menores para associar os dados de origem e destino das viagens e, assim, obter a espacialização dos deslocamentos internos à cidade. Entre os dados mais relevantes para o estudo, pode-se citar a verificação dos motivos de viagem e dos modos de transporte utilizados, além da calibração de um fator que representa um padrão de distribuição de viagens entre as Zonas de Tráfego da cidade.

6.2.4. Rede viária urbana e linhas de ônibus

O Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, STT –EESC – USP disponibilizou, também, a rede viária da cidade e as linhas de ônibus em arquivo digital, ambas para o ano de 2010.

6.2.5. Cadastro com a localização dos empreendimentos residenciais e das áreas com pedido de diretrizes para ocupação

A Prefeitura Municipal de São Carlos disponibilizou o cadastro de empreendimentos imobiliários da cidade, desde 2005 até a atualização em agosto de 2011, e um arquivo digital associado contendo a espacialização desses empreendimentos. Nesse cadastro, os novos loteamentos e condomínios com previsão de implantação estão caracterizados quanto à etapa de aprovação em que se encontram, podendo constar como: concluído, em obras, aguardando registro, em estágio inicial de aprovação e concluído. Contém, também, informações acerca do público alvo e número de lotes. Foi fornecido um arquivo vetorial com a localização e área de cada empreendimento e das áreas para as quais foram pedidas diretrizes de ocupação para a prefeitura. Com essas informações é possível avaliar as condições reais que a cidade apresenta para sua expansão urbana.

6.2.6. Localização dos pontos de comércio e indústria

A Revisão do Plano Diretor apresentou uma atualização da distribuição espacial dos pontos de comércio e de indústrias na cidade e essa informação permitiu estimar a atração de viagens por empregos em cada setor censitário.

6.2.7. Levantamento de alunos matriculados nas escolas e universidades em 2011

Foi feito um levantamento do número de alunos matriculados nas instituições de ensino de São Carlos, contando com as escolas públicas e privadas de ensino fundamental e médio (SEESP, 2012) e as universidades (excetuando UNICEP e Área II do campus da USP), sendo contabilizado o número de estudantes para cada categoria e a localização em arquivo vetorial. Essa informação permite estimar a atração de viagens por estudos em cada setor censitário.

6.2.8. Vazios urbanos

Os dados de vazios urbanos levantados pela Prefeitura Municipal de São Carlos para o diagnóstico da cidade efetuado em função da elaboração do Plano Diretor da cidade foram atualizados pela equipe da revisão, utilizando-se uma imagem de satélite de alta resolução da cidade, datada de 2010. Essa informação permite que se estimem áreas possíveis para a ocupação internamente à cidade, em substituição à conversão de novas áreas para uso urbano.

6.3. Construção dos cenários

O objetivo final da construção dos cenários é o cálculo das emissões resultantes dos deslocamentos na cidade de São Carlos. Para efetuar esses cálculos, foi utilizado o Método das Quatro Etapas, cuja primeira etapa consiste na definição do número de viagens atraídas e produzidas por cada Zona de Tráfego, seguida da distribuição dessas viagens, da divisão modal e da alocação dessas viagens nas vias da cidade (descrição detalhada no item 7). Assim, os cenários foram construídos de modo a gerar como resultado os dados da primeira etapa, utilizando como divisão do território da cidade os setores censitários utilizados pelo IBGE, para os quais se tem diversos dados disponíveis. Deste modo, na posterior aplicação do Método das Quatro Etapas, as Zonas de Tráfego utilizadas corresponderam às áreas dos setores censitários.

As cinco variáveis condicionantes definidas para o objeto de estudo estão diretamente relacionadas à geração e atração de viagens, bem como a sua distribuição no território da cidade, pois definem as áreas da cidade, a população residente, a localização dos motivos de atração de viagens, a escolha entre os locais de residência e atividades e o modo de transporte utilizado para realizar os deslocamentos. As combinações feitas entre essas variáveis, seguindo as definições apontadas por cada cenário, possibilitam o cálculo do número de viagens atraídas e produzidas em cada setor censitário. Para o cálculo das viagens atraídas, considerou-se como principais atividades realizadas pela população o trabalho e os estudos, e para as viagens produzidas considerou-se a população residente, ambos calculados para cada setor censitário.

Portanto, a construção dos cenários foi feita pela combinação dessas variáveis condicionantes, e as considerações e metodologias utilizadas para suas estimativas e projeções para cada cenário estão descritas a seguir. Entretanto, inicialmente, alguns dados totais para a cidade de São Carlos foram estimados para posterior utilização na construção de cada cenário:

6.3.1. População urbana em 2010

A população urbana de São Carlos em 2010 foi definida segundo os dados do censo do IBGE. Esses dados são divididos entre setores rurais e urbanos¹¹, entretanto, notou-se que alguns setores rurais continham grande número de população, inclusive de aglomerados populacionais com características urbanas e conectados à malha urbana da cidade. Assim, foi feita uma adequação dos setores censitários e dos dados de população referentes a eles para que essas populações fossem contabilizadas nos cenários. Ademais, o distrito de Santa Eudóxia (1.953 habitantes) não foi considerado devido à distância em que se encontra do núcleo urbano central de São Carlos. Pela soma das populações de cada setor censitário após as modificações descritas, foi contabilizada uma população urbana total de **213.061 habitantes**, valor que será utilizado nos próximos procedimentos desta pesquisa.

¹¹ O IBGE considera como área urbana “as áreas, urbanizadas ou não, internas ao perímetro urbano das cidades (sedes municipais) ou vilas (sedes distritais) ou as áreas urbanas isoladas (...) A situação rural abrangeu todas as áreas situadas fora desses limites” (IBGE, 2001, p.18)

6.3.2. População urbana em 2050

Foi necessário, também, projetar a população urbana de São Carlos para o ano de 2050 (neste primeiro momento, apenas o valor bruto foi calculado, desconsiderando os valores por setor censitário). Optou-se por aplicar o método AiBi (MADEIRA; SIMÕES, 1972) utilizado pelo IBGE para as projeções de população para os estados, regiões e municípios brasileiros. O método relaciona valores de uma grande área com valores relativos às pequenas áreas que a compõem. Sendo conhecida a população da área maior para um momento futuro, o método considera o incremento da população das áreas menores proporcionalmente ao incremento da área maior, de tal forma que ao final do processo de estimação das populações das áreas menores, resta assegurada a reprodução da população da área maior (FREIRE¹², 2008).

A operacionalização do método é dada pelas seguintes equações:

$$P_i(t_0) = a_i \cdot P(t_0) + b_i \quad (1)$$

$$P_i(t_1) = a_i \cdot P(t_1) + b_i \quad (2)$$

Onde:

P_i é a população da área menor i ;

P é a população da área maior;

t_0 e t_1 são dois períodos no tempo, onde dispomos de valores conhecidos que são utilizados na estimativa dos parâmetros a_i e b_i .

E os parâmetros a_i e b_i são encontrados pelas seguintes equações:

$$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)} \quad (3)$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i P(t_0) \quad (4)$$

Para a aplicação do método, tinha-se conhecida a população do Estado de São Paulo e dos municípios que o compõem para os anos de 2000 e 2010 (IBGE, 2001; 2011), e a população do estado projetada pelo SEADE (2010) para 2050 – 47.204.293 habitantes.

¹² FREIRE, F.H.M.A.; CIRNE, R.C.B.A.; OLIVEIRA, J.M. Projeção populacional intra-urbana para 2020 da Região Metropolitana de Natal. Trabalho apresentado no Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 16., 2008, Caxambu.

Assim, aplicando as equações 3 e 4, sendo $t_0=2000$, $t_1=2010$, P_i =população dos municípios e P =população do estado de São Paulo, obteve-se os parâmetros a_i e b_i . Com esses resultados, aplicaram-se as equações 1 e 2, sendo $t_0=2010$, $t_1=2050$, P_i =população dos municípios e P =população do estado de São Paulo, obtendo-se o valor da projeção da população dos municípios (P_i) para o ano de 2050.

A população calculada para a cidade de São Carlos em 2050 resultou em **262.754 habitantes**. Entretanto, o interesse da pesquisa está somente na população urbana, sendo necessário estimar uma porcentagem de população urbana para o ano de 2050. Utilizando dados históricos de taxa de urbanização para o município (SEADE, 2014), foram aplicadas diversas equações de projeção, mas todos os resultados alcançados indicaram que o município atingiria 100% de urbanização antes de 2050. Assim, optou-se por uma taxa de 98,5%, que considera um aumento da concentração da população em áreas urbanas e, ao mesmo tempo, considera que haverá população rural no município. Como deve-se desconsiderar a população do distrito de Santa Eudóxia, o resultado obtido para a população urbana em 2050, utilizado na pesquisa, foi de **256.860 habitantes**.

As planilhas com os cálculos efetuados estão no Anexo D. Os valores de população urbana calculados e utilizados nos próximos procedimentos da pesquisa estão sintetizados na Tabela 9.

Tabela 9: População urbana estimada para São Carlos em 2010 e 2050

Ano	População urbana
2010	213.435
2050	256.860

6.3.3. Empregos e estudos em 2050

Com os dados de empregos formais em 2010 (SEADE, 2014) e o número de estudantes levantado em 2011 para São Carlos, realizou-se uma projeção linear proporcional ao crescimento populacional de São Carlos entre 2010 e 2050. Como resultado das projeções realizadas, obtiveram-se os dados contidos na Tabela 10:

Tabela 10: Dados de empregos e estudos para a cidade de São Carlos em 2010 e estimados para 2050

Ano	2010	2050
Empregos Indústria	18.255	21.611
Empregos Comércio e Serviços	46.058	54.525
Empregos Totais	64.313	76.136
Estudantes UFSCAR	1.997	2.364
Estudantes USP	1.104	1.307
Estudantes Ensino Básico	52.437	62.077
Estudantes Totais	55.538	65.748

Os dados gerais obtidos acima foram utilizados nas projeções realizadas para as variáveis condicionantes segundo os objetivos e critérios definidos para cada cenário. Deste modo, para cada cenário, foram definidas as áreas urbanizadas; a distribuição dos locais de moradia da população e dos empregos e estudantes por setor censitário; o aumento ou diminuição das distâncias entre os locais de moradia e de atividades da população e a porcentagem dos modos de transporte utilizados pela população para seus deslocamentos.

6.4. CENÁRIO BASE – 2010

Configuração da área urbana da cidade

Este cenário tem o objetivo de retratar as condições presentes e, portanto, as áreas urbanizadas foram definidas no item 6.2, em que foram feitas algumas adequações dos dados de setores rurais e urbanos fornecidos pelo IBGE para 2010. A Figura 20 mostra o resultado final das áreas urbanas em 2010 segundo os setores modificados, totalizando uma área urbana de 5.682 hectares.

Figura 20: Mapa com os setores urbanos definidos para São Carlos para 2010

Locais de moradia da população

Para a localização da população residente, foi utilizado o arquivo vetorial com as populações relativas a cada setor censitário (IBGE, 2010). Estas populações foram adequadas para obter-se a população urbana de interesse à pesquisa, segundo explicitado no item 6.3.1. A Figura 21 mostra essa distribuição.

Locais onde a população realiza suas atividades

A atração de viagens foi feita pela junção das vagas para estudos e de empregos. O número de vagas de estudos nas instituições de ensino da cidade levantado em 2011 foi

atribuído aos setores censitários referentes à localização de cada instituição. O número total de empregos foi distribuído uniformemente pelos pontos de localização de comércios e indústrias fornecidos pela Prefeitura de São Carlos. Como esses pontos estão divididos em comerciais e industriais e os dados das categorias de empregos formais (SEADE, 2014) estão divididos em comércio, serviços e administração pública e indústria, optou-se por atribuir aos pontos relativos a indústria, os empregos industriais, e aos relativos ao comércio, os empregos de comércio e serviços e administração pública. Ao final, as vagas para estudos e os empregos foram somados para cada setor censitário, resultando no mapa da Figura 22, que mostra de forma visual a distribuição dessas atividades no território da cidade.

Figura 21: Distribuição da população urbana em São Carlos - 2010

Figura 22: Distribuição das atividades em São Carlos - 2010

Escolha da população quanto aos locais de residência e onde desenvolvem suas principais atividades

A escolha da população quanto a onde irão residir e onde irão desenvolver suas principais atividades – trabalho e/ou estudo – interfere em de qual setor sairá e chegará cada viagem. A variação desta variável define se as viagens iniciadas em um dado setor terminarão em um setor mais próximo ou mais distante. Esta característica é simulada na etapa de distribuição do tráfego, a partir da constante gravitacional calibrada para o comportamento de cada cenário (item 7.3.2).

O padrão dessa escolha da população para o ano de 2010 foi obtido a partir da calibração do Modelo Gravitacional (item 7.3.2), em que uma constante gravitacional é gerada a partir dos dados reais de comportamento de viagens da população da cidade; e, assim, simula esse comportamento para outros cenários.

O padrão de escolha da população por onde residem e onde trabalham e estudam para os cenários futuros seguiram o padrão de 2010, com exceção dos cenários 5, 6 e 9, que simularam alterações nesta variável no sentido de diminuir as distâncias das viagens realizadas.

Escolha da população entre os modos de transporte

As porcentagens de uso de automóveis e ônibus em São Carlos em 2010 foram estimadas pelos dados da Pesquisa O/D realizada para a cidade. Embora os dados tenham sido levantados em 2007, foram considerados aplicáveis para o ano de 2010, pois não foram observados fatores que indiquem a ocorrência de alterações significativas no comportamento de viagens da população. As planilhas da Pesquisa O/D possuem dados de viagem de vários modos de transportes, em vários horários do dia e por vários motivos de viagens. Foram selecionadas apenas as viagens realizadas por automóvel e ônibus, pelos motivos de estudo e trabalho (principais atividades realizadas diariamente) e em todos os horários, resultando nos valores da Figura 23.

Figura 23: Distribuição de utilização entre os modos de transporte - Viagens realizadas somente por motivo de trabalho e estudo em São Carlos, 2010
Fonte: Pesquisa O/D

Esses dados são disponibilizados por Zona de Tráfego, caracterizando esse comportamento entre as diversas regiões da cidade. Entretanto, as Zonas de Tráfego definidas na Pesquisa O/D referida se diferem dos setores utilizados nesta pesquisa, portanto, para a utilização desses dados segundo as áreas dos setores censitários em 2010, houve a necessidade de correlacionar as áreas dos dois mapas para atribuir as porcentagens modais aos setores. Tal procedimento foi realizado em ambiente SIG. Como algumas áreas dos mapas não se sobrepõem, houve a necessidade de se estimar as porcentagens modais para as áreas dos setores que não apresentavam tal sobreposição, através de uma média aritmética dos valores das áreas do entorno.

Após esse procedimento, aplicaram-se as porcentagens de utilização dos modos ônibus (19,20%) e automóveis (34,34%), aos dados de população residente (produção de viagens) e de atividades (atração de viagens) de cada setor, obtendo-se os valores de produção e atração de viagens para trabalho e estudos realizadas de ônibus e automóveis em 2010.

6.5. CENÁRIO 1 – Tendencial (disperso)

O objetivo do cenário tendencial é construir um retrato de como as variáveis condicionantes estarão no ano 2050 caso as tendências observadas nas últimas décadas continuem. Deste modo, é o cenário mais trabalhoso em termos de projeções e estimativas de dados confiáveis; enquanto que os cenários alternativos são suposições feitas em relação a possíveis configurações urbanas, permitindo maior liberdade para as projeções.

Ao iniciar-se o planejamento de construção deste cenário, lançando mão dos dados disponíveis e considerando as discussões sobre as tendências urbanas recentes verificadas em São Carlos (item 5), percebeu-se que alguns fatores deveriam ser considerados tanto na distribuição espacial da nova população, quanto na redistribuição da população já residente, quais sejam:

- A. os empreendimentos imobiliários previstos para implantação na cidade de São Carlos e das áreas com pedidos de diretrizes para implantação de novos empreendimentos;
- B. parte dos novos empreendimentos imobiliários se localizarão em novas áreas urbanas, e parte em vazios localizados em áreas já urbanizadas;
- C. em 2010, alguns empreendimentos imobiliários encontravam-se em fase de ocupação, ou seja, estavam parcialmente ocupados;
- D. a distribuição da população em São Carlos é caracterizada pela migração de populações do centro da cidade para as áreas periféricas (demonstrada no item 5.2.1);
- E. há um déficit habitacional que deve ser suprido pelo Estado nos próximos anos, estimado em 4.278 domicílios para o ano de 2010, com ocupação de 11.765 habitantes (PLHISSC, 2010); e
- F. a manutenção de lotes vazios e subutilizados é intrínseca à urbanização das cidades e à lógica do mercado imobiliário; em 2003, foram estimados pela Prefeitura Municipal em 13,16% dos domicílios totais.

A partir desses dados e tendências observados, foram definidos os procedimentos para a projeção das variáveis condicionantes para este cenário.

Inicialmente, a fim de auxiliar e possibilitar a projeção de ambas variáveis: ‘configuração das novas áreas urbanas’ e ‘distribuição da população residente’, foi necessário definir densidades de ocupação do território da cidade, pois, a partir delas, pode-se estimar quantos habitantes habitarão as novas áreas definidas para a ocupação. Houve a necessidade de definir essas densidades em duas ordens de grandeza: habitantes por domicílio (densidade de ocupação dos domicílios) e habitantes por área (densidade populacional); pois o cadastro de empreendimentos imobiliários fornecido pela prefeitura dispunha de dados de número de lotes (equivalente a domicílio), enquanto os pedidos de diretrizes para ocupação contêm somente dados de área. Assim, para a ocupação de áreas referentes ao primeiro documento, utilizaram-se os dados de densidade de ocupação por domicílio, enquanto para a ocupação de áreas referentes ao segundo documento, foram utilizados os dados de densidade populacional.

As densidades foram calculadas para as seis zonas que o Plano Diretor da cidade define no Zoneamento da Macrozona Urbana (Figura 24 e Tabela 11), e foram utilizadas em cálculos posteriores desta pesquisa.

Figura 24: Zoneamento da Macrozona Urbana de São Carlos

Fonte: Plano Diretor (2005)

Tabela 11: Densidade habitacional por domicílio e por área habitacional para as zonas do zoneamento da macrozona urbana de São Carlos

Zonas	Densidade populacional por domicílio e por área	
	(hab/dom)	(hab/ha)
Zona 1	2,04	45,92
Zona 2_SE	2,68	69,46
Zona 2_NO	2,86	52,34
Zona 2_N	2,62	44,82
Zona 3A	3,16	81,94
Zona 3B	2,93	60,16

Configuração da área urbana da cidade

A distribuição das áreas que a nova população ocupará foi determinada considerando que os empreendimentos imobiliários constantes no cadastro fornecido pela Prefeitura de São Carlos sejam, de fato, implantados, conformando o panorama mais aproximado à realidade futura de crescimento urbano da cidade. Deste modo, foi necessário verificar se todo o crescimento populacional urbano previsto para a cidade até 2050 seria compatível com o número de habitantes esperado para ocupar esses empreendimentos. Assim, o número dos lotes totais de cada empreendimento imobiliário foi multiplicado pela densidade de ocupação por domicílio segundo sua localização nas zonas (Tabela 11), resultando no valor médio de pessoas que deveriam ocupar os empreendimentos. O resultado mostrou que seria necessário maior área para a acomodação da nova população.

Foi calculada, então, a área necessária para a alocação da população restante, dividindo esta população pela densidade de ocupação por área (Tabela 11). Em seguida, algumas áreas com pedidos de diretrizes constantes no cadastro foram selecionadas para que essa alocação fosse feita. A Figura 25 mostra a área urbana final projetada para ocupação em 2050 segundo as previsões de empreendimentos imobiliários, totalizando a área urbana em 6.639 hectares¹³.

¹³ Importante considerar que os setores utilizados não representam somente as áreas urbanizadas, há interstícios de áreas com outros usos, não representando a área urbana real mas sim uma aproximação.

Figura 25: Mapa dos setores urbanos de São Carlos estimados para 2050, com destaque para a diferenciação em relação a 2010

Locais de moradia da população

O acréscimo populacional previsto para 2050 foi dividido em três partes, as quais foram alocadas no território da cidade de formas distintas: (i) ocupação das novas áreas urbanas, onde serão implantados os novos empreendimentos imobiliários; (ii) ocupação de áreas urbanas já existentes que ainda estão em processo de ocupação; e (iii) ocupação de áreas urbanas já existentes levando em

consideração a continuidade do processo de migração da população das áreas centrais às áreas periféricas da cidade.

Para (i), a população foi alocada nas novas áreas urbanas previstas para 2050 destacadas na Figura 25. A população que ocupará essas áreas foi calculada segundo os valores médios de ocupação de domicílios constantes na Tabela 11.

Para (ii), foi definido que as novas populações seriam alocadas na área urbana já consolidada em 2010, compreendendo os empreendimentos imobiliários que se encontravam ainda em etapa de ocupação e os novos empreendimentos a serem implantados em vazios urbanos existentes na cidade. A imagem de satélite disponível foi utilizada para identificar, nos empreendimentos em ocupação, o número de lotes ocupados em 2010 e, portanto, obter-se o número de lotes que ainda deveriam ser ocupados. Para o segundo caso, foram identificados os empreendimentos previstos para implantação em área já urbanizada e o número de lotes foi contabilizado. Ao final, os números de lotes quantificados para os dois casos foram multiplicados pelos valores de ocupação média de domicílios segundo sua zona de localização (Tabela 11) para obter-se a população que ocupará essas áreas nos próximos anos.

Aos resultados dos cálculos realizados em (i) e (ii), foi aplicada uma taxa de ocupação efetiva da cidade, baseada no número de lotes vazios e subutilizados apontados pela PMSC (2013) em relação ao total de domicílios existentes na cidade segundo IBGE (2000). Este procedimento considera que a existência de vazios urbanos é inerente à lógica de ocupação urbana das cidades, ditada pelo mercado imobiliário. A taxa em questão foi calculada em 13,16% de lotes vazios e subutilizados, e, portanto, a população estimada para as situações (i) e (ii) foi multiplicada por 86,84%, representando o número de habitantes dos domicílios que realmente serão ocupados se mantida a mesma taxa de vazios observadas atualmente.

Para os cálculos de (iii), a migração interna à cidade foi projetada pelo método AiBi. O município de São Carlos foi considerado como grande área, os setores censitários como pequenas áreas, e 2000 e 2010 como os anos utilizados para o cálculo dos parâmetros a_i e b_i (Equações 3 e 4). Nessa aplicação, a taxa de aumento ou diminuição de população ocorrida em cada setor entre os anos de 2000 e 2010 foi replicada. Considerou-se que o dado de déficit habitacional estimado para 2010 poderia ser igualado ao número de habitantes que se deslocarão dentro da própria

cidade nos próximos anos, pois representam famílias que se encontram em situação indesejável de moradia e que apresentaram interesse por nova moradia junto à PROHAB. Assim, nesta aplicação do método AiBi, não houve a utilização de um ano futuro para previsão, mas sim, as equações 1, 2, 3 e 4 foram aplicadas de modo iterativo até que a soma da diminuição da população dos setores que tendem a diminuir de população se igualasse ao déficit habitacional de 11.765 habitantes. Como resultado obteve-se uma simulação do deslocamento intraurbano da cidade segundo as mesmas tendências observadas entre 2000 e 2010 e considerando o déficit habitacional como o número de habitantes que se deslocará.

Para chegar-se na distribuição final da população, os arquivos vetoriais com a distribuição espacial da população pelos setores, resultantes de cada procedimento descrito, foram sobrepostos e as populações foram somadas para cada setor, resultando na distribuição da população para 2050 demonstrada pela Figura 26.

Locais onde a população realiza suas atividades

Objetivando seguir as tendências recentes de distribuição de empregos, escolas e universidades, a localização das novas vagas de estudos e empregos foram distribuídas segundo as mesmas porcentagens presentes nos setores em 2010. Assim, calculou-se a porcentagem de estudos e empregos presente em cada setor em relação ao total em 2010 e o resultado foi multiplicado pelo número de estudos e empregos totais projetados para 2050:

$$Empregos\ em\ 2050_i = \%Empregos\ em\ 2010_i * Empregos\ Totais\ em\ 2050 \quad (5)$$

$$Estudantes\ em\ 2050_i = Estudantes\ em\ 2010_i * Estudantes\ Totais\ em\ 2050 \quad (6)$$

Onde i é o setor censitário.

Resultando na distribuição apresentada na Figura 27.

Figura 26: Distribuição da população urbana - Cenário tendencial - 2050

Figura 27: Distribuição das atividades - Cenário tendencial – 2050

Escolha da população quanto aos locais de residência e onde desenvolvem suas principais atividades

O padrão de escolha da população quanto a onde irão residir e onde irão desenvolver suas principais atividades – trabalho e/ou estudo – para este cenário segue o padrão verificado para 2010, para o qual a constante gravitacional foi calibrada segundo os dados da Pesquisa O/D (item 7.3.2).

Escolha da população entre os modos de transporte

A projeção das porcentagens de escolha da população pelos modos de transporte em 2050 foi feita através de dados sobre a frota de automóveis nos últimos anos em São Carlos (Tabela 12). Métodos de projeção foram aplicados e os resultados mostraram um aumento expressivo da frota de automóveis em relação à população projetada para 2050. Optou-se, portanto, por adotar, para o número de automóveis por habitante em 2050, o valor de 0,65 automóveis/habitante, e, por projeção linear proporcional à porcentagem de utilização de automóveis por motivo de estudo e trabalho em 2010 (34,34%), foi obtida essa porcentagem para 2050 (Equação 6). Pela falta de dados históricos sobre a frota de ônibus da cidade, optou-se por definir um aumento de 7,6% na utilização de ônibus na cidade até 2050, considerando que haverá melhorias no sistema de transporte público da cidade, embora com poucos investimentos.

Tabela 12: Histórico da frota de automóveis em São Carlos

Ano	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012
População	207.445	210.335	213.169	218.884	221.950	224.173	226.322
Automóvel	62.322	65.256	69.091	77.629	83.758	89.354	89.354
Automóvel/Hab.	0,30	0,31	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42
Taxa de Variação		1,033	1,045	1,094	1,064	1,056	1,052

Fonte: DENATRAN (2014)

Taxa de utilização de automóvel em 2050 =

$$\frac{\text{Taxa de utilização de automóvel em 2010} \times 0,65}{\text{Número de automóveis por habitante em 2010}} \quad (7)$$

Os resultados obtidos estão na Tabela 13.

Tabela 13: Taxa de utilização dos modos de transporte em 2010 e estimados para 2050 – Cenário compacto e tendencial

Ano	2010	2050
Taxa de Utilização de Automóvel	34,34	58,80
Taxa de Utilização de Ônibus	19,20	26,80

6.6. CENÁRIO 2 – Compacto

O objetivo do cenário compacto é possibilitar avaliar uma alternativa para a localização do crescimento urbano que tenha como resultado uma cidade mais compacta, reduzindo, assim, as distâncias percorridas para os deslocamentos diários da população.

Configuração da área urbana da cidade

Como critério, foi definido que a nova população de São Carlos ocupará vazios urbanos localizados internamente à malha urbana já consolidada, evitando a abertura de empreendimentos imobiliários em áreas que ainda não estão urbanizadas e, portanto, evitando os diversos impactos relacionados à conversão de terras para o uso urbano. Portanto, a área urbana para o cenário compacto de 2050 permanecerá a mesma de 2010 (Figura 20).

Locais de moradia da população

A nova população foi, então, alocada nos vazios urbanos existentes na cidade em 2010. Para a identificação dessas áreas, o levantamento dos vazios urbanos realizado pela Prefeitura de Municipal de São Carlos foi, atualizado para 2010 utilizando-se a imagem de satélite de alta resolução. Foram localizadas áreas e lotes que não tinham construção em 2010, excetuando as Áreas de Preservação Permanente e os equipamentos públicos, como praças e campos de futebol, entre outros (Figura 28). Com a utilização das taxas de ocupação em habitantes/hectare

segundo zonas da cidade (Tabela 11) e a área em hectares dos vazios, calculou-se a população que ocupará essas áreas, selecionando as áreas necessárias para ocupação da nova população de 43.425 habitantes.

A distribuição da população final foi feita pela soma das populações do Cenário 2010 e das obtidas para os vazios urbanos segundo os setores urbanos (Figura 29).

Figura 28: Mapa com os vazios urbanos localizados por imagem de satélite para a cidade de São Carlos em 2012

Locais onde a população realiza suas atividades

A distribuição espacial do número de estudantes e de empregos utilizada para o cenário compacto foi a mesma da aplicada para o tendencial, mantendo as mesmas proporções dos setores urbanos em 2010 (Figura 30).

Figura 30: Distribuição das atividades - Cenário Compacto - 2050

Figura 29: Distribuição da população urbana - Cenário compacto - 2050

Escolha da população quanto aos locais de residência e onde desenvolvem suas principais atividades

O padrão de escolha da população quanto a onde irão residir e onde irão desenvolver suas principais atividades – trabalho e/ou estudo – para este cenário segue o padrão verificado para 2010, para o qual a constante gravitacional foi calibrada segundo os dados da Pesquisa O/D (item 7.3.2).

Escolha da população entre os modos de transporte

A escolha entre os modos de transporte para este cenário é a mesma utilizada no cenário tendencial

6.7. CENÁRIOS 3 e 4 - Variação da distribuição espacial das atividades realizadas pela população

O objetivo da construção desses dois cenários é que a distribuição da população residente para os cenários tendencial e compacto continue a mesma – o primeiro urbanizando novas áreas para moradia e o segundo alocando a nova população em vazios internos às áreas urbanas já consolidadas –, mas que a distribuição espacial dos motivos de atração de deslocamentos da população (estudo e trabalho) seja alterada. Propõe-se que esses pontos de atração de viagem sejam distribuídos de forma mais homogênea pelo território da cidade, de forma que a população possa escolher desempenhar suas principais atividades em locais mais próximos ao de sua residência, o que reduziria o número de viagens motorizadas e as distâncias percorridas.

Nos dois cenários, as novas vagas de estudos e empregos foram adicionadas às já existentes em 2010, de acordo com sua distribuição nos setores censitários.

Tendencial

A distribuição das vagas em universidades não variou, pois considerou-se que não serão abertas novas universidades, e, portanto, o aumento de 3.671 vagas foi

alocado nos setores onde elas já estão localizadas. Para realizar a distribuição das vagas em escolas elaborou-se um *buffer* de 600m ao redor dos pontos de escolas já existentes. Nos setores censitários cujo centroide¹⁴ não estivesse localizado no interior da área gerada pelo *buffer* foram alocados os 9.640 novos estudantes, dividindo-os equitativamente por esses setores.

A distribuição dos novos empregos em indústrias foi feita a partir de procedimento análogo ao utilizado para os estudos. Elaborou-se um *buffer* de 800m ao redor dos pontos de indústria, e nos setores censitários cujo centroide não estivesse localizado no interior da área gerada pelo *buffer*, foram alocados os 21.611 novos empregos industriais, dividindo-os equitativamente por esses setores. As distâncias utilizadas para a geração dos *buffers* foram diferentes pois considerou-se que é mais aceitável que um adulto caminhe maiores distâncias para ir ao trabalho do que crianças e jovens.

A distribuição dos novos empregos de comércio, serviços e administração pública, por se tratar de um número maior, foi realizada selecionando-se apenas os setores que, em 2010, tinham um número de empregos menor que 50, e, estes, receberam os novos empregos de forma equitativa.

Compacto

A alocação das novas vagas nas universidades foi feita da mesma maneira que no cenário tendencial. A distribuição das novas vagas nas escolas e dos novos empregos nas indústrias foi feita de modo análogo ao tendencial, pela utilização de *buffers* de idênticas distâncias. Entretanto, o resultado da distribuição é diferente, pois o cenário tendencial contém novas áreas de expansão e o compacto não, tornando a distribuição mais dispersa no primeiro e mais concentrada no segundo.

A distribuição dos novos empregos de comércio, serviços e administração pública, foi feita de modo análogo ao tendencial, porém selecionaram-se apenas os setores que, em 2010, tivessem um número de empregos menor que 75 (como são menos setores, estes recebem maior número de empregos). A Figura 31 e a Figura 32 mostram os resultados dessas variações feitas para os dois cenários iniciais.

¹⁴ É chamado de centroide o centro de massa de uma dada forma geométrica.

Figura 31: Variação da distribuição das atividades - Cenário tendencial – 2050

Figura 32: Variação da distribuição das atividades - Cenário compacto - 2050

6.8. CENÁRIOS 5 e 6 – Variação da distribuição espacial das atividades realizadas pela população e diminuição das distâncias percorridas

O objetivo da variação proposta por estes cenários é que, além das atividades de atração de deslocamentos serem distribuídas de forma mais homogênea no território, haja mecanismos de indução para que os habitantes, de fato, passem a realizar suas atividades diárias principais em locais mais próximos a suas moradias. Assim, a mesma distribuição das atividades feita para os cenários anteriores foi aplicada nestes cenários. Em conjunto, um procedimento utilizado na etapa de distribuição de viagens (3ª Etapa) do Método das Quatro Etapas foi realizado para induzir a modificação dos deslocamentos proposta, o qual será explicado detalhadamente no item 7.

De modo resumido, na etapa de distribuição das viagens realizada pela ferramenta *Traffic Distribution* do *software* TransCAD, é gerado um modelo que realiza a distribuição das viagens pelas vias de tráfego da cidade. Este modelo contém uma constante gravitacional, a qual determina se as viagens geradas em certas zonas se direcionarão para zonas de atração mais próximas ou mais distantes; quanto maior seu valor, mais próximos serão os destinos das viagens produzidas em cada zona. Essa ferramenta possibilitou, portanto, que o valor da constante gravitacional modelado e utilizado para todos os outros cenários fosse aumentado, e, assim, que as viagens geradas fossem direcionadas para zonas de atração mais próximas quando comparadas ao comportamento de viagens observado atualmente em São Carlos¹⁵. Este procedimento permitiu a simulação da escolha da população por realizar suas atividades em regiões da cidade mais próximas de sua moradia, aproveitando a disponibilidade de atividades distribuídas de forma mais homogênea na cidade.

¹⁵ A constante gravitacional utilizada para os outros cenários foi definida pela calibração do modelo de distribuição de viagens a partir dos dados de viagens disponibilizados pela Pesquisa O/D realizada para São Carlos. Assim, a aplicação do valor encontrado pela calibração resulta em uma distribuição de viagens com o mesmo padrão atual de comportamento de deslocamentos da população atualmente.

6.9. CENÁRIOS 7 e 8 – Variação da escolha entre os modos de transporte

O objetivo da variação proposta para a escolha entre os modos de transporte é avaliar o efeito de uma mudança nas escolhas no uso de transporte individual (automóveis) e coletivo (ônibus) nas emissões resultantes dos deslocamentos urbanos. Para isto, levou-se em conta uma pesquisa realizada sobre a distribuição modal de diversas cidades no mundo, e, ao final, foi selecionada a cidade de Bogotá, na Colômbia, pois é cidade de referência em sistema de transporte público na América Latina, apresentando condições políticas, econômicas e sociais similares ao Brasil semelhantes¹⁶. Deste modo, as porcentagens de uso de automóvel (14,63%) e ônibus (61,49%) (Figura 33) foram aplicadas aos cenários tendencial e compacto, em contraste com o valor de 32% para automóvel e 18% para ônibus aplicados anteriormente.

Figura 33: Distribuição de utilização entre os modos de transporte em Bogotá, Colômbia

Fonte UN-HABITAT (2013, p. 7)

¹⁶ Na linha de estímulo ao transporte coletivo público, o sistema de transporte implantado em Bogotá, na Colômbia, com corredores expressos e uso de linhas troncais de grande capacidade utilizando ônibus articulados se tornou o primeiro sistema de transporte urbano a receber recursos do sistema do Protocolo de Quioto (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo – MDL). O projeto Transmilênio retirou veículos privados das ruas, organizando o sistema de transporte e sobretaxando a gasolina, contabilizando uma redução de mais de 300 mil toneladas de CO₂/ano o que gera recursos na ordem de R\$ 3 milhões ao ano para a cidade (IPEA, 2011)

6.10. CENÁRIO 9 – Combinação das variações

O último cenário proposto tem o intuito de avaliar a integração dos fatores urbanos discutidos ao longo da pesquisa, quais sejam, um cenário futuro de maior compactação da cidade, em que a nova população ocupa vazios internos à malha urbana da cidade, no qual ocorre a distribuição mais homogênea das principais atividades realizadas diariamente pela população, a indução de que a população passe a realizar suas atividades em locais mais próximos à sua moradia e um maior uso do transporte coletivo em detrimento ao individual. Deste modo, todas as variações anteriores foram aplicadas em conjunto para o cenário inicial compacto.

7. ESPACIALIZAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS

As etapas anteriores de construção dos cenários geraram os dados de produção (população residente) e de atração (empregos e estudos) de viagens por setor urbano, necessários para que fosse possível espacializar os deslocamentos na cidade de São Carlos para as situações previstas por cada cenário. A posterior espacialização seguiu os procedimentos do Método das Quatro Etapas, realizados pela aplicação de ferramentas contidas no *software* TransCAD.

7.1. Método das quatro etapas

O Método das Quatro Etapas é tradicionalmente utilizado no planejamento em transportes estimar o fluxo de viagens atual e o futuro em uma determinada região. Tem como finalidade a previsão da demanda por tráfego pela determinação da quantidade e tipo de viagens realizadas entre zonas de uma determinada região, de acordo com as características de comportamento dos usuários do sistema de transportes (D'AGOSTO, 2013). O método é dividido em quatro etapas: geração de viagens, distribuição de viagens, escolha modal e alocação do tráfego.

A possibilidade de realizar cada etapa de variadas maneiras, sem a exigência de informações de alta precisão, torna o método atrativo no planejamento de transportes. Outra vantagem apresentada é a possibilidade de utilizar diversas partes de um modelo desenvolvido para uma região em outras regiões com características semelhantes, sem demandar muitas alterações (ROCHA, 2010). A seguir, estão detalhadas as quatro etapas:

7.1.1. 1ª Etapa: Geração de viagens

O objetivo desta etapa é estimar a produção e atração de viagens para cada uma das Zonas de Tráfego (ZT) em que o território da área de estudo foi dividido, considerando um período de tempo definido (dia, semana, mês ano). É comum o uso de métodos causais, na forma de taxas de crescimento ou regressão (linear ou não), onde a geração de viagens é função do uso do solo (industrial, comercial, residencial) e de aspectos socioeconômicos (empregos, renda, número de residências, número de estabelecimentos industriais e comerciais, assim como sua capacidade).

7.1.2. 2ª Etapa: Distribuição de viagens

A distribuição trata de definir o número de viagens (V_{ij}) realizadas entre cada par de ZTs (sendo i a ZT de origem e j a ZT de destino) ou internas a cada zona, com base nos números de viagens produzidas e atraídas por cada ZT. É gerada como resultado uma Matriz Origem/Destino (O/D) de modo a expressar as origens e os destinos das viagens. Nesta etapa, pode-se utilizar o método de fator de crescimento, fator socioeconômico, custo generalizado ou modelo gravitacional (D'AGOSTO, 2013), sendo este último o mais comum.

O Modelo Gravitacional é baseado na lei de atração de massas, sendo constituído de uma equação que define o número de viagens entre cada par de zonas, proporcionalmente ao número total de viagens em todas as zonas. Para sua aplicação, é necessário a definição de um Fator de Fricção, para o qual se utiliza, predominantemente, a distância entre as ZTs, podendo-se utilizar ainda o tempo de viagem ou o custo, além de outros fatores de ajuste que variam segundo a região analisada.

7.1.3. 3ª Etapa: Escolha modal

Nesta etapa devem-se definir as probabilidades dos indivíduos optarem por realizar suas viagens utilizando os diferentes modos de transporte disponíveis. O tempo de viagem, o custo, o conforto e a segurança são fatores que geralmente influenciam essas escolhas; são definidas funções de utilidade para cada modo com base em tais características, e com base em informações socioeconômicas são determinadas as escolhas de cada tipo de usuário. A partir da escolha modal podem ser geradas submatrizes O/D com as viagens realizadas por cada modo de transporte.

7.1.4. 4ª Etapa: Alocação de tráfego

Os métodos mais comumente utilizados na etapa de alocação de fluxos são o método tudo ou nada, método STOCH, método incremental, método de restrição de capacidade, método de equilíbrio do usuário, método de equilíbrio do usuário estocástico e método do sistema ótimo (D'AGOSTO, 2013). O método tudo ou nada considera que as viagens serão feitas pela melhor rota possível, podendo ser menor distância ou menor tempo, independente da capacidade das vias; ele não representa uma situação realista, mas oferece resultados de fácil compreensão sobre o fluxo de viagens em cada via, ou seja, o fluxo de viagens para cada trecho das vias da cidade num certo período de tempo.

7.2. Ferramentas computacionais – TransCAD

A realização do Método das Quatro Etapas através das ferramentas computacionais disponíveis no *software* TransCAD foi baseada no trabalho de Rocha (2010), que avaliou o potencial do uso desse método e dessas ferramentas em

conjunto com a ferramenta *What If* para a elaboração de cenários de crescimento urbano e projeção de viagens realizadas internamente às cidades.

7.2.1. Balanceamento de Vetores (Primeiro passo: geração de viagens)

Os principais motivos de viagens considerados na pesquisa foram os empregos e os estudos. Assim, para cada ZT, o número de empregos e estudos representa o número de viagens destinadas a ela e, para o número de viagens que dela se originam, deve-se utilizar a população corrigida da zona. Essa correção é necessária, pois, considerar a população total da zona seria admitir que toda a população da cidade estaria realizando viagens, o que não seria possível, pois o número de empregos e estudos não seria suficiente. Deste modo, a parcela da população que deve ser considerada deve ser igual ao número total de empregos e estudos disponíveis, garantindo o equilíbrio entre total de viagens iniciadas e concluídas.

A ferramenta Balanceamento de Vetores, disponível no *software* TransCAD, foi utilizada para execução desse procedimento. Esta ferramenta executa um procedimento matemático, corrigindo o vetor população com base no vetor de empregos e estudos, multiplicando os valores de população por uma taxa de redução equivalente à razão entre o número total de atração de viagens e a população total.

7.2.2. Modelo gravitacional (Segundo passo: distribuição de viagens)

A fim de definir a distribuição das viagens, ou seja, de qual zona parte e em qual zona chega cada viagem, foi utilizado o Modelo Gravitacional, disponível no SIG TransCAD. A calibração deste modelo com dados reais do comportamento de deslocamentos de uma dada região (Matriz da Pesquisa O/D) permite simular o

padrão das viagens realizadas nesta região para outros cenários, através da constante gravitacional equivalente gerada.

O TransCAD disponibiliza a ferramenta Calibração do Modelo Gravitacional, em cuja aplicação o método de calibração utilizado foi o da Potência Inversa, que possui a formulação apresentada a seguir, cuja constante gravitacional é representada pelo elemento b:

$$V_{ij} = \frac{V_i * V_j}{d^b} \quad (8)$$

Onde:

V_{ij} = viagens com origem em i e destino a j

V_i = poder de geração de viagens de i, dado pela soma das viagens com origem em i.

V_j = poder de atração de viagens de j, dado pelo soma das viagens com destino em j.

d = Fator de Fricção (distância entre os pontos de origem e destino das viagens).

b = constante gravitacional.

Nota-se, pela equação do método, que a distância d, por estar no denominador da equação, representa a dificuldade de se transpor certa distância entre um par de ZTs, ou seja, quanto maior seu valor, mais difícil será que viagens longas ocorram, e as viagens serão distribuídas, preferivelmente, entre par de ZTs mais próximas. Nota-se, também, que a constante gravitacional, b, interfere no grau de intensidade dessa ‘preferência’ entre pares de zonas mais próximas na distribuição das viagens, ou seja, quanto maior o seu valor, maior será a preferência de distribuição das viagens entre pares de ZTs mais próximas em relação às mais distantes.

A ferramenta Calibração do Modelo Gravitacional tem como entrada os dados reais de viagens entre ZTs de uma região (Pesquisa O/D) e um arquivo em forma de matriz com as distâncias entre os centroides de cada par de ZTs; e gera como saída, a constante gravitacional b, a qual exprime o padrão de viagens da região.

Obtida a constante gravitacional, a distribuição de viagens pode ser feita para dada região para diversos cenários. Com os valores de produção e atração de viagens em cada ZT e a constante gravitacional, a Equação 8 é utilizada para produzir uma

matriz O/D que indica as origens e destinos das viagens realizadas entre cada par de zonas segundo o comportamento de viagens original da região.

A ferramenta Aplicação do Modelo Gravitacional tem a função de realizar esse último procedimento, tendo como entrada o arquivo com os dados de produção e atração de viagens em cada ZT, uma matriz contendo as distâncias entre os centroides de cada par de ZTs e a constante gravitacional referente à região. Esta aplicação gera uma matriz O/D que contém os deslocamentos entre cada par de zonas para o cenário que se pretende estudar, de acordo com o padrão de viagens representado pela constante gravitacional.

7.2.3. Método de divisão modal (Terceiro passo: escolha modal).

Apesar da disponibilidade de ferramentas capazes de determinar a escolha dos modos de viagens pelos usuários do sistema, sua aplicação não foi possível pela falta de dados sobre o sistema de transporte em São Carlos (apenas os dados de frota de automóveis e os dados da Pesquisa O/D estavam disponíveis). Assim, os métodos de projeção e as suposições utilizados na definição modal estão descritos no item 6 para cada cenário.

7.2.4. Alocação Tudo ou Nada (Quarto passo: alocação de tráfego)

A alocação de tráfego foi feita pelo uso da ferramenta de alocação Tudo ou Nada, também disponível no TransCAD. A ferramenta utiliza como dados de entrada uma matriz O/D com os dados de viagens que pretende-se alocar, a localização geográfica dos centroides das ZTs e a rede de vias urbanas nas quais as viagens devem ser alocadas.

Essa ferramenta considera que as viagens serão feitas pela melhor rota possível, podendo ser a rota de menor distância ou de menor tempo, no caso de vias

com diferentes velocidades de tráfego. No entanto, não são consideradas as capacidades das vias, permitindo que todas as viagens sejam feitas pelas melhores rotas, diferentemente da situação real esperada, em que as viagens se distribuiriam por outras vias segundo a capacidade da via.

Assim, a ferramenta testa, para cada par de centroides, todas as possíveis rotas e seleciona aquela com a menor distância, alocando na rota selecionada o número de viagens entre aqueles dois pontos, de acordo com o valor especificado na matriz origem/destino. Após esse procedimento, a ferramenta soma todas as viagens alocadas em cada via, representando, ao final, o fluxo total de viagens realizadas pelas vias cidade.

7.3. Aplicação

7.3.1. 1ª Etapa: Geração de viagens

Os valores de atração e produção de deslocamentos foram definidos para cada setor urbano no item anterior de construção dos cenários, e, considerando os setores como as ZTs para as quais os cálculos de viagens serão feitos, estes serão os dados utilizados nos procedimentos seguintes. Assim, as viagens atraídas e produzidas por cada ZT foram definidas pelo balanceamento entre as atrações e produções, feito pela utilização da ferramenta Balanceamento de Vetores. Os resultados de total de viagens produzidas e atraídas em cada cenário estão indicados na Tabela 14:

Tabela 14: Número de viagens estimadas para cada cenário por modo de transporte

Cenário	Automóvel	Ônibus
Base 2010	42.286	24.539
Tendencial	84.429	39.598
Compacto	85.555	40.486
Tendencial - variação atividades	85.318	40.042
Compacto - variação atividades	86.779	40.485
Tendencial - variação atividades e distâncias	85.318	40.042
Compacto – variação atividades e distâncias	86.779	40.485
Tendencial - variação modal	20.995	90.855
Compacto - variação modal	21.279	92.890
Combinação variações	21.577	76.194

7.3.2. 2ª Etapa: Distribuição de viagens

Para a aplicação do Modelo Gravitacional na presente pesquisa, foi necessário calibrar este modelo com os dados da Pesquisa O/D realizada para São Carlos, de modo que, com os dados de viagens produzidas e atraídas por cada ZT calculados no item 6, fosse possível fazer a distribuição dessas viagens entre cada par de zonas. A calibração foi feita duas vezes, de modo a gerar constantes gravitacionais diferenciadas para representar o padrão de comportamento das viagens realizadas por automóveis separadamente das realizadas por ônibus. As matrizes O/D utilizadas nestas calibrações foram geradas a partir dos dados coletados por amostragem durante a Pesquisa O/D, os quais foram filtrados para que fossem contabilizadas apenas as viagens realizadas pelos motivos de trabalho e estudo e pelos modos de transporte ônibus e automóveis, separadamente.

O modelo foi então calibrado pela aplicação da ferramenta Calibração do Modelo Gravitacional, de forma a encontrar as constantes gravitacionais mais adequadas ao padrão de comportamento das viagens realizadas na cidade de São Carlos (Tabela 15).

Tabela 15: Constante Gravitacional calculada para cada modo de transporte pela calibração do modelo de viagens para São Carlos

Modo de Transporte	Constante Gravitacional
Automóveis	1,0091
Ônibus	0,4019

Obtidas as constantes gravitacionais, em conjunto com os arquivos de distâncias entre ZTs e com os dados de viagens atraídas e produzidas em cada ZT, a ferramenta Aplicação do Modelo Gravitacional foi utilizada para a distribuição das viagens. Através de iterações, a ferramenta calculou a distribuição equivalente aos dados informados, gerando como resultado duas matrizes origem/destino para cada cenário, uma relativa às viagens realizadas por automóveis, e outra para as realizadas por ônibus.

Entretanto, nos cenários em que foi proposta uma indução da diminuição das distâncias das viagens percorridas, as constantes gravitacionais foram alteradas. O aumento do valor da constante gravitacional aplicada para a distribuição das viagens para estes cenários foi utilizado para simular esta preferência por viagens mais curtas (entre ZTs mais próximas). Deste modo, para estes cenários a constante gravitacional aplicada recebeu o valor 2,0, tanto para o caso dos automóveis quanto para os ônibus.

7.3.3. 3ª Etapa: Divisão modal

Esta etapa foi definida no item de construção dos cenários, em que, a partir dos dados da Pesquisa O/D, foram calculadas as taxas de viagens atraídas e produzidas realizadas por cada modo de transporte de interesse da pesquisa, automóvel e ônibus, para cada ZT. Essas taxas foram aplicadas às viagens do cenário base 2010.

Os outros cenários receberam distribuição modal diferentes, cujos valores foram definidos nas projeções e suposições realizadas no item 6 segundo o objetivo de cada cenário.

7.3.4. 4ª Etapa: Alocação de tráfego

Os dados de entrada para a aplicação do método de alocação Tudo ou Nada consistiram nas matrizes origem/destino para cada modo de transporte de cada cenário, um arquivo com a localização dos centroides de cada ZT feito no próprio TransCAD, um arquivo com as vias da cidade para a alocação das viagens realizadas por automóveis e um arquivo com as linhas de ônibus da cidade, em que foram alocadas as viagens realizadas por ônibus.

Foi definido que a ferramenta deve alocar o percurso das viagens nas vias da cidade minimizando a distância entre os pontos de origem e destino destas, em detrimento ao tempo. A opção foi feita pois no caso da cidade de São Carlos, as diferenças de velocidade nas vias não representam um fator significativo de alteração no tempo das viagens, sendo a utilização da distância mínima percorrida mais apropriada à realidade de escolha de viagens da população da cidade.

Como resultado, a ferramenta gerou planilhas contendo o número de viagens realizadas em cada via, de acordo aos dados de viagens contidos em cada matriz O/D fornecida. Conjuntamente aos dados de comprimento das vias, é possível calcular as distâncias totais percorridas pelos deslocamentos realizados, interesse final da pesquisa, pois, a partir dessas distâncias, foram calculadas as emissões decorrentes dos deslocamentos realizados para cada cenário.

As distâncias percorridas diariamente pela população em cada cenário estão apresentadas na Tabela 16, representando tanto os deslocamentos de ida aos estudos e empregos, como os de volta às residências.

Tabela 16: Distância total percorrida diariamente pela população para cada cenário

Cenário	Distância (km/dia)		Distância Total (km/dia)
	Automóvel	Ônibus	
Base 2010	323.376	254.308	577.684
Tendencial	782.223	455.045	1.237.268
Compacto	664.747	424.684	1.089.431
Tendencial - variação atividades	830.266	439.692	1.269.958
Compacto - variação atividades	718.299	397.254	1.115.553
Tendencial - variação atividades e distâncias	642.178	345.235	987.413
Compacto - variação atividades e distâncias	527.895	305.152	833.047
Tendencial - variação modal	194.526	1.043.956	1.238.482
Compacto - variação modal	165.320	974.335	1.139.655
Combinação variações	131.245	574.289	705.534

A seguir estão apresentados os mapas que permitem a visualização dos deslocamentos nas vias de tráfego da cidade, contendo apenas os fluxos de ida aos estudos e empregos para qualificar sua visualização (considerando que esses representam metade dos deslocamentos e são proporcionais aos deslocamentos totais para todos os cenários). Para cada cenário são apresentados dois mapas os fluxos de viagens realizadas por automóveis (laranja) e os realizados por ônibus (azul). As viagens de automóveis foram alocadas em todas as vias de tráfego da cidade, enquanto as de ônibus foram alocadas apenas nas linhas de ônibus.

Os mapas apresentam o número de viagens realizadas pelos habitantes em cada via da cidade, e, assim, quanto mais grossa a linha de fluxo, significa que maior número de habitantes passa por essa via diariamente.

Há, portanto, uma ligação direta entre a distribuição dos deslocamentos e as distâncias totais percorridas em cada cenário. A espacialização dos fluxos permite avaliar de onde se originam e para onde se destinam as viagens, podendo-se perceber se sua maioria ocorre em diversas vias da cidade – ou seja, não estão majoritariamente direcionadas a um polo de atração – ou se estas se concentram em determinadas vias – implicando que os maiores fluxos de população estão direcionados para os mesmos destinos. A avaliação destes mapas contribui com a pesquisa no sentido de demonstrar quais cenários modificaram o padrão de viagens da população, tanto em relação ao modo de transporte utilizado quanto em relação à sua quantidade e percursos realizados.

Figura 34: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário 2010

Figura 35: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário compacto

Figura 36: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário tendencial

Figura 37. Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário compacto com variação da distribuição espacial das atividades

Figura 38: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário tendencial com variação da distribuição espacial das atividades

Figura 39: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário compacto com variação da distribuição espacial das atividades e redução das distâncias percorridas

Figura 40: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário tendencial com variação da distribuição espacial das atividades e redução das distâncias percorridas

Figura 41: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário compacto com variação modal

Figura 42: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário tendencial com variação modal

Figura 43: Fluxos de viagens percorridas diariamente por automóveis (laranja) e ônibus (azul) – Cenário de combinação das variações

8. CÁLCULO DAS EMISSÕES

A partir dos dados de distâncias percorridas diariamente em cada cenário proposto, foi possível calcular suas contribuições nas emissões urbanas de GEEs na cidade de São Carlos, e o referente Potencial de Aquecimento Global. A metodologia utilizada para o cálculo de emissões, os parâmetros utilizados e sua aplicação estão descritos a seguir.

8.1. Metodologia *Bottom-Up*

A Metodologia *Bottom-Up* é utilizada nos cálculos de emissões dos inventários de emissões realizados pela CETESB. A disponibilidade dos dados necessários para esta metodologia a torna muito atrativa para o contexto brasileiro.

A metodologia baseia-se na distância anual percorrida por cada tipo de veículo e, utilizando outros dados e coeficientes, calcula as emissões finais de poluentes de cada tipo de veículo. Os dados necessários e coeficientes necessários são: frota de cada tipo de veículo, fator de emissão (g/km), combustível consumido, autonomia veicular (km/l), idade do veículo, intensidade de uso (km/ano) e fator de degradação (g/km).

A equação geral é definida por Álvares e Linke (2001),

$$Emissões_i = Fator\ de\ Emissão_{ia} \times Eficiência_b \times Distância\ Percorrida \quad (8)$$

Onde,

i = gás emitido

a = combustível consumido

b = tipo de veículo

Emissões_i = emissões de um gás i (g_{poluente})

Fator de Emissão = quantidade de um gás i emitido a partir da quantidade de combustível consumida (g/km)

Eficiência_b = eficiência de consumo de combustível por distância percorrida (km/l)
do tipo de veículo b

Os fatores de emissão para veículos novos são obtidos no Laboratório de Emissão Veicular da CETESB, seguindo a norma NBR-6601 e com metodologia semelhante à vigente nos EUA. Entretanto, é aplicado um fator de correção chamado Fator de Degradação (FD), que é utilizado para a correção do Fator de Emissão conforme a idade do veículo, obtido segundo procedimento definido, também, pela norma NBR-6601. A distância percorrida é calculada pela multiplicação entre a frota circulante e a quilometragem média percorrida anualmente por cada tipo de veículo.

8.2. Cálculo do Potencial de Aquecimento Global em CO₂ equivalente

O Manual de Capacitação em Mudança Climática e Projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo apresenta uma proposta metodológica para o cálculo do Potencial de Aquecimento Global, em que foi definida uma equivalência que permite expressar as emissões de qualquer GEE em termos de toneladas de dióxido de carbono equivalente.

Esse procedimento está baseado no efeito diferenciado das emissões de cada GEE na atmosfera sobre o clima. Por exemplo:

[...] o metano emitido pelo homem para a atmosfera desaparece com um decaimento exponencial em uma escala de tempo de 11 anos, e o óxido nitroso em uma escala de tempo de 114 anos. O dióxido de carbono começa a voltar ao normal rapidamente no início, devido à fotossíntese, mas esse decaimento torna-se mais lento com o tempo, de forma que uma fração da ordem de 15 a 20% do dióxido de carbono emitido por atividades humanas pode tardar alguns milhares de anos para ser removida da atmosfera (CGEE, 2008, p.40).

Deste modo, a equivalência é obtida pela estimativa do valor relativo de energia de aquecimento resultante da emissão de uma tonelada de um gás e de uma tonelada de dióxido de carbono, cem anos após a emissão. O cálculo é feito pela integral da forçante radiativa correspondente à emissão do gás e do dióxido de carbono em cem anos. Os Potenciais de Aquecimento Global para os principais GEEs estão na Tabela 17.

Tabela 17: Potenciais de Aquecimento Global para os principais GEE

GEE	Potencial de Aquecimento Global
CO ₂	1 (por definição)
CH ₄	23
N ₂ O	296

Fonte: IPCC (2001)

Assim, o cálculo do Potencial de Aquecimento Global dos principais GEEs leva a um único valor de emissões totais, representado em termos de massa de CO₂ equivalente.

8.3. Aplicação

O objetivo desta seção é calcular as emissões de GEEs para cada cenário a partir das alocações de fluxos realizadas. Os cálculos foram feitos para o período de um ano, o mesmo utilizado nos inventários de emissões realizados para o estado de São Paulo e para o Brasil, de modo a possibilitar comparações entre esses levantamentos.

Dentre os gases indicados pelo IPCC (2001) como principais contribuintes para o aumento do efeito estufa, foram selecionados para os cálculos o CO₂, N₂O e CH₄, por serem os que apresentam contribuição no setor de transportes. Os tipos de veículos considerados nos cálculos foram o ônibus urbano com motor a diesel e veículos leves com motor movido à gasolina, à etanol e flex.

As emissões totais calculadas para cada cenário são o resultado da soma das emissões parciais de cada modo de transporte, automóveis e ônibus. O cálculo de emissões por ônibus é feito diretamente, sendo estes considerados como ônibus

urbano movido à diesel, enquanto o cálculo de emissões totais para os automóveis necessita alguns ajustes, pelas diversas variações de tipos de veículos existentes – que consomem diferentes combustíveis, têm diferentes valores de autonomia e de fatores de emissões – e pelas diferentes quantidades de cada tipo presentes na frota total de veículos da cidade. Assim, as emissões totais por automóveis foram calculadas de acordo com a participação de cada tipo de veículo na frota do estado de São Paulo, pois não se obtiveram esses dados para a cidade de São Carlos (Tabela 18).

Tabela 18: Frotas de automóveis do Estado de São Paulo.

Tipo de veículo	Número de veículos	%
Gasolina	4.419.493	0,49
Etanol	452.378	0,05
Flex	4.165.658	0,46
Total	9.037.529	1,00

Fonte: CETESB, 2012

A Equação 9 foi utilizada para o cálculo das emissões totais de cada cenário.

$$E_{\text{Emissões Totais}} = E_{\text{Ônibus}} + E_{\text{Automóveis}} \quad (9)$$

Sendo,

$$E_{\text{Automóveis}} = 0,49 * E_{\text{Emissões gasolina}} + 0,05 * E_{\text{Emissões etanol}} + 0,46 * E_{\text{Emissões flex}} \quad (10)$$

Os automóveis flex têm a particularidade de poderem ser abastecidos com gasolina ou etanol, em diferentes proporções. Assim, foram utilizados dados de preferência da população quanto ao uso de cada combustível em automóveis flex segundo a relação entre seus preços (preço do etanol/preço da gasolina – P_e/P_g) para o estado de São Paulo, disponibilizado pela Empresa de Pesquisas Energéticas (Figura 44); assim também, considerou-se o preço médio dos combustíveis no município de São Carlos no ano de 2010, fornecido pela Agência Nacional de Preços (Tabela 19), para definir-se qual a porcentagem de cada combustível utilizada nos automóveis flex nesse ano.

Figura 44: Preferência de consumo de etanol e gasolina em veículos flex em relação ao preço dos combustíveis

Fonte: EPE (2013)

Tabela 19: Preço médio mensal do etanol e da gasolina vendida em São Carlos aos consumidores finais em 2010

Período	Preço - Consumidor Final (R\$/litro)	
	Gasolina	Etanol
2010	Gasolina	Etanol
Janeiro	2,63	1,78
Fevereiro	2,63	1,81
Março	2,57	1,53
Abril	2,48	1,36
Maio	2,46	1,31
Junho	2,48	1,34
Julho	2,47	1,30
Agosto	2,47	1,34
Setembro	2,51	1,38
Outubro	2,54	1,46
Novembro	2,54	1,47
Dezembro	2,53	1,52
Média	2,53	1,47
Taxa média - Pe/Pg	0,58	

Fonte: ANP (2010)

Como resultado, obteve-se 30% de uso de gasolina e 70% de uso de etanol. Essas porcentagens foram utilizadas para o cálculo das emissões parciais de

automóveis flex para todos os cenários (Equação 11), considerando que elas se manterão no ano de 2050.

$$Emissões_{flex} = 0,30 * Emissões_{flex a gasolina} + 0,70 * Emissões_{flex a etanol} \quad (11)$$

Com essas definições iniciais, a Metodologia *Bottom-Up* foi aplicada para os cálculos de emissões parciais para cada tipo de veículo segundo os dados de distâncias de cada cenário. Entretanto, a idade dos veículos não pôde ser considerada. A metodologia permite considerar este quesito nos cálculos, entretanto, não são fornecidos os Fatores de Degradação para motores movidos a diesel, e para os automóveis, não são fornecidos para os GEEs (CO₂, N₂O e CH₄)¹⁷, gases de interesse da pesquisa.

Deste modo, sua equação foi simplificada para se adequar aos dados que se tinha disponíveis:

$$Emissões_i = 1.000 * Fator de Emissão_{ib} * Distância Anual Percorrida \quad (12)$$

Onde,

i = gás emitido;

b = tipo de veículo;

Emissões_i = emissões de um gás i (ton_{poluente}) ;

Fator de Emissão'_{ib} = quantidade de um gás i emitido por distância percorrida pelo tipo de veículo b (g/km);

Distância Percorrida = distância total anual percorrida em cada cenário (km).

Os fatores de emissões de cada tipo de veículo foram retirados do Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo publicado pela CETESB em 2012. Os Anexos A, B e C mostram as tabelas retiradas do inventário que apresentam os valores dos fatores, os quais estão sintetizados na Tabela 20.

¹⁷ A CETESB fornece os fatores de emissões corrigido segundo a idade da frota apenas para os gases CO, NO_x, NMHC e RCHO (CETESB, 2012)

Tabela 20: Fatores de emissões em gramas de poluente por quilômetro percorrido (g/km) de cada GGE para cada tipo de veículo

Tipo de veículos	Fatores de emissões (g/km)		
	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
Automóvel Gasolina	208	0,019	0,007
Automóvel Etanol	200	0,017	0,03
Flex Gasolina	177	0,019	0,009
Flex Etanol	171	0,017	0,05
Ônibus	921,03	0,03	0,06

Fonte: CETESB (2012)

Os valores de distância obtidos pela alocação dos fluxos no item 7 referem-se às viagens realizadas pela população para realização de suas principais atividades em um dia típico do ano. Como o interesse da pesquisa é o valor anual das emissões geradas pelos deslocamentos realizados pelos veículos, os valores de distância foram divididos pelas taxas de ocupação média dos veículos para cada modo de transporte e multiplicados pelo número de dias úteis contidos em um ano. As equações que operacionalizam esses cálculos encontram-se a seguir:

$$Distância_{dia\ típico} = Distância_{viagens} / Taxa\ de\ ocupação\ média\ por\ veículo \quad (13)$$

$$Distância_{anual} = Dias\ úteis\ no\ ano \cdot Distância_{dia\ típico} \quad (14)$$

Com relação aos automóveis, foi considerado o valor de 1,2 para a ocupação média por veículo (PVPC, 2011, p.13). Quanto à ocupação média dos ônibus, foram utilizados dados sobre o transporte público de São Carlos levantados por Peiter (2014), em sua pesquisa sobre a qualidade ambiental interna no transporte coletivo da cidade. Estimaram-se que 60.000 passageiros utilizam ônibus diariamente na cidade, e que são realizadas, em média, 18 viagens por cada veículo em cada uma das 58 linhas existentes no sistema de transporte coletivo de São Carlos. Com esses valores, obtém-se uma ocupação de 57 passageiros por ônibus. Entretanto, considerando que esses passageiros não permanecem nos ônibus durante todas as viagens realizadas, e que, portanto, em parte do trajeto a lotação é menor que a calculada, estimou-se, com o auxílio de um especialista do Departamento de

Transportes da Prefeitura Municipal de São Carlos, uma taxa média de ocupação dos ônibus de 40 passageiros por veículo. E o número de dias úteis em um ano utilizado foi obtido para o ano de 2010, sendo igual a 252.

A Equação 12 foi, finalmente, aplicada aos dados para os cálculo de emissões parciais de cada tipo de veículo em toneladas de poluentes (CO₂, N₂O e CH₄). E, em seguida, a Equação 15 foi aplicada para que essas emissões fossem convertidas em Potencial de Aquecimento Global, em toneladas de CO₂ equivalente, segundo os valores parciais de contribuição de cada poluente para o aquecimento global indicados na Tabela 17.

$$\text{Pot. de Aquecimento Global} = \text{Emissões}_{CO_2} + 23 * \text{Emissões}_{CH_4} + 296 * \text{Emissões}_{N_2O} \quad (15)$$

A seguir, são apresentadas as planilhas utilizadas para calcular emissões parciais dos automóveis movidos a gasolina do cenário base 2010 (Figura 45 e Figura 46). A última coluna à direita indica o modo de obtenção dos dados, a partir de revisão bibliográfica, pela geração de dados em itens anteriores da pesquisa ou por alguma das equações descritas.

Cenário 2010 - Automóvel a Gasolina		
CÁLCULO DA DISTÂNCIA ANUAL PERCORRIDA PELOS VEÍCULOS		MODO DE OBTENÇÃO
Distância diária percorrida pela população (km)	323.376	Item 8
Ocupação média	1,2	PCPV (2011)
Distância diária percorrida pelos veículos (km)	269.480	Equação 13
Dias úteis no ano	252	2010
Distância anual percorrida pelos veículos (km)	67.908.926	Equação 14

Figura 45: Planilha utilizada para o cálculo da distância anual percorrida para o cenário base 2010

Cenário 2010 - Automóvel a Gasolina				
EMISSIONES DE POLUENTES	CO₂	N₂O	CH₄	MODO DE OBTENÇÃO
Fator de emissões (g/km)	208	0,019	0,007	Tabela 20
Emissões finais (ton)	14.125,06	1,29	0,48	Equação 12
Potencial de Aquecimento Global (ton CO₂ eq)				
Emissões em CO ₂ eq (ton)	14.517,91			Equação 15

Figura 46: Planilha utilizada para os cálculos das emissões de GEEs para o cenário base 2010

Os resultados finais de emissões por cenário se encontram na Tabela 21.

Tabela 21: Emissões de GGEs calculadas para cada cenário

Cenários	Distância percorrida (km/ano)		Potencial de Aquecimento Global (ton CO ₂ equivalente)		
	Automóvel	Ônibus	Automóvel	Ônibus	Final
Base 2010	67.908.925	1.602.140	13.398	1.492	14.890
Tendencial	164.266.758	2.866.782	32.408	2.670	35.078
Compacto	139.596.928	2.675.508	27.541	2.492	30.033
Tendencial – variação atividades	174.355.756	2.770.062	34.399	2.580	36.979
Compacto – variação atividades	150.842.742	2.502.701	29.760	2.331	32.091
Tendencial – variação atividades e diminuição distâncias	134.857.447	2.174.979	26.606	2.026	28.632
Compacto – variação atividades e diminuição distâncias	110.857.967	1.922.458	21.871	1.790	23.662
Tendencial – variação modal	40.850.535	6.576.924	8.059	6.125	14.185
Compacto – variação modal	34.717.245	6.138.312	6.849	5.717	12.566
Combinação variações	27.561.352	3.618.022	5.438	3.369	8.807

9. DISCUSSÕES

9.1. O *urban sprawl* na cidade de São Carlos (SP)

Os estudos sobre o crescimento das cidades permitiu entender que o modelo de crescimento urbano histórico das cidades paulistas tem resultado em espaços fragmentados, de infraestrutura diferenciada e em contínua expansão territorial. O *urban sprawl* apresenta-se apenas como um novo padrão para este mesmo modelo, pois, embora persistam as características citadas, o aumento da velocidade e intensidade de suas características acentuaram seus efeitos.

A verificação de diversos aspectos deste padrão foi feita para a cidade de São Carlos no item 5.2, em que foi descrita a fragmentação da área urbanizada; a migração tanto das classes menos favorecidas quanto das mais abastadas para as áreas periféricas da cidade; a permanência da concentração das atividades na área central da cidade, com formação de corredores comerciais e de serviços; o aumento do uso do transporte individual em detrimento ao coletivo; e a implantação de avenidas ligando de forma radial as periferias e o centro, para dar fluxo aos novos contingentes habitacionais periféricos.

Nesses termos, vale ressaltar o aumento crescente das distâncias entre os diversos pontos da cidade e, especificamente, entre os locais de moradia da população e os locais onde desenvolvem suas atividades, fatores que interferem na eficiência dos deslocamentos na cidade. A quantidade de recursos necessários para a manutenção desse padrão aumenta paralelamente à intensificação desses processos, quais sejam: recursos para a implantação de toda a infraestrutura necessária em áreas mais afastadas, ao invés de investir em melhorias nas já existentes e utilizá-las (materiais de construção civil, energia, combustíveis, máquinas, materiais); recursos para construção de vias de tráfego que deem vazão aos novos fluxos de veículos; combustíveis necessários aos deslocamentos cada vez mais longos; dentre diversos outros. Ainda, sua manutenção causa o desmatamento e a conversão de áreas com outros usos para o uso urbano, aumentando a poluição e intensificando a segregação sócio espacial. A aplicação de análises de ciclo de vida para avaliar os impactos gerados em todo ciclo de vida desses recursos traria uma visão do real impacto que esse padrão de crescimento urbano causa e a dimensão territorial dos seus efeitos.

9.2. Metodologia aplicada

A metodologia de cenários utilizada facilitou o entendimento do objeto de estudo – efeitos do *urban sprawl* nas emissões urbanas – a partir da definição e diferenciação entre o que são as variáveis determinantes e as variáveis condicionantes deste objeto. Com a definição das variáveis determinantes das emissões, puderam-se definir as variáveis que as condicionam, permitindo a construção dos cenários segundo propostas de variação dessas variáveis condicionantes.

A técnica de alocação do tráfego pelo Método das Quatro Etapas a partir da utilização de ferramentas disponíveis no *software* TransCAD permitiu a geração de resultados precisos no cálculo das distâncias percorridas pelos deslocamentos. Ademais, apresentou a vantagem de exigir dados espaciais normalmente existentes nas prefeituras municipais.

A etapa mais complicada foi a de definição das viagens produzidas e atraídas para cada zona, que depende de projeções e considerações plausíveis para o desenvolvimento futuro da cidade. Existem incertezas associadas a essas projeções e considerações, entretanto, buscou-se justificar as escolhas feitas para a definição das variáveis em cada cenário. Além disso, o exercício de construção de cenários está atrelado aos objetivos e às escolhas realizadas para a definição das projeções relativas a cada variável e cenário.

Neste ponto, a Pesquisa O/D realizada para São Carlos foi de grande valia, pois contém dados obtidos a partir da realidade obtidos em pesquisa feita através de uma amostragem representativa da população da cidade. Principalmente para os cenários de 2010 e o tendencial, esses dados foram importantes por representarem condições reais da cidade, dando validade às projeções realizadas, enquanto os alternativos buscaram propor quebras de tendências e, portanto, resultaram mais flexíveis.

A metodologia da CETESB foi considerada satisfatória para o cálculo das emissões dos veículos, permitindo calcular as emissões dos diversos gases produzidas pelos vários tipos de veículos. O relatório de emissões veiculares realizado para 2012 pela CETESB disponibilizou informações importantes para permitir os cálculos de emissões, como os fatores de emissões por poluente e tipo de veículo, os fatores de degradação, a frota de veículos e sua idade média no estado de São Paulo, autonomia dos veículos e intensidade de uso dos veículos. Entretanto, muitos desses dados constituem médias estimadas para os parâmetros considerados nos cálculos das emissões, inferindo algumas incertezas associadas aos resultados gerados.

Embora a metodologia de cálculo de emissões adaptada da CETESB e utilizada nesta pesquisa contenha incertezas, ela é inovadora no sentido de não utilizar estimativas de frotas veiculares e nem de médias de distâncias percorridas anualmente pelos veículos. Sua principal característica consiste no fato das distâncias percorridas serem calculadas com base em dados confiáveis sobre o roteiro de viagens diárias realizadas pela população, o qual descreve detalhadamente de onde partem e onde chegam essas viagens dentro da cidade. A alocação desses deslocamentos nas vias de tráfego da cidade permite identificarem-se, de fato, os caminhos percorridos pela população, com alto grau de detalhe.

A espacialização dos fluxos permite, ainda, a associação de aspectos relacionados aos padrões de uso do solo ao comportamento de viagens da população. Constitui, desse modo, uma ferramenta importante, capaz de auxiliar os tomadores de decisão no entendimento dos impactos que certas ações podem vir a causar no ambiente urbano,

Tal espacialização de dados no território da cidade foi permitida pelo uso dos *softwares* ArcGIS e TransCAD – Sistemas de Informação Geográfica –, e constituíram ferramentas importantes para a demonstração do padrão de ocupação da cidade, para a construção dos cenários segundo variações espaciais das variáveis condicionantes e para a alocação dos fluxos e cálculo das distâncias decorrentes.

9.3. Resultados dos cenários

Os cenários propostos pela pesquisa quantificam as emissões decorrentes dos deslocamentos realizados na cidade, com o objetivo de propor uma metodologia de avaliação dos impactos do padrão de ocupação e do comportamento de viagens da cidade nas emissões urbanas segundo tendências concretas de desenvolvimento urbano e alternativas a elas. O Potencial de Aquecimento Global quantificado para cada cenário é entendido, também, como um indicador de eficiência dos deslocamentos na cidade, na medida em que retrata se estes estão sendo realizados de forma a gerar o menor impacto possível nas emissões. Portanto, os resultados de emissões obtidos permitem a comparação entre diversas opções de desenvolvimento, sendo utilizados, inclusive, como indicadores da eficiência dos deslocamentos em São Carlos.

A Figura 47 apresenta em forma de gráfico os resultados obtidos para cada cenário, diferenciando os valores obtidos para o Potencial de Aquecimento Global decorrente dos

deslocamentos realizados em automóveis e em ônibus, separadamente. Pela sua visualização, é marcante a diferença entre as emissões decorrentes do uso dos dois modos de transporte, em que o uso do transporte individual emite consideravelmente mais do que o transporte coletivo.

Apenas nos cenários em que o transporte coletivo passa a ser mais utilizado do que o individual (cenários 7, 8 e 9), as emissões de cada modo quase se igualam, resultando, em conjunto, em cerca de metade das emissões totais dos outros cenários futuros.

Esses resultados encontrados são corroborados pelo cálculo da eficiência de cada modo de transporte quanto à massa de poluente emitida pelo deslocamento de um quilômetro por um passageiro. Através dos dados de distância percorrida e emissões resultantes contidos na Tabela 21, calculados a partir de coeficientes obtidos em testes laboratoriais efetuados pela CETESB, utilizados pelo próprio órgão para seus cálculos de emissões veiculares, e a taxa de ocupação de cada modo de transporte, foi possível realizar esses cálculos de eficiência de cada modo de transporte. Os resultados encontrados são de 22,2mg/km.passageiro para o caso do transporte coletivo e 164,4mg/km.passageiro no caso do transporte individual (cerca de sete vezes maior que o primeiro).

Figura 47: Comparação entre as emissões de GEEs de cada cenário

Em seguida, a Tabela 22 permite comparar o Potencial de Aquecimento Global de cada cenário futuro entre eles e com o cenário base 2010.

Tabela 22: Relação entre o Potencial de Aquecimento Global dos cenários futuros e o cenário base 2010

Cenários	Potencial de Aquecimento Global (ton CO₂eq)	Variação em Relação a 2010 (%)
Base 2010	14.890	--
Tendencial	35.078	135,6
Compacto	30.033	101,7
Tendencial – variação atividades	36.979	148,3
Compacto – variação atividades	32.091	115,5
Tendencial – variação atividades e diminuição distâncias	28.632	92,3
Compacto – variação atividades e diminuição distâncias	23.662	58,9
Tendencial – variação modal	14.185	-4,7
Compacto – variação modal	12.566	-15,6
Combinação variações	8.807	-40,9

Fonte: Resultados da pesquisa

A visualização gráfica da distribuição espacial das variáveis para cada cenário auxilia a interpretar esses resultados, o que será feito a seguir. De modo geral, pode-se dizer que as variáveis condicionantes definidas para comporem os cenários e as metodologias de aplicação de suas variações segundo os cenários tiveram desempenho satisfatório para simular as diversas alternativas de uso do solo. As alternativas variaram em relação aos fatores de dispersão e compactação, centralização e homogeneização e alterações nas escolhas de viagens da população.

As diferenciações entre as propostas de compactação e dispersão da área urbana da cidade e dos locais de residência da sua população é bem ilustrada pela comparação entre os cenários iniciais: tendencial e compacto (Figura 48):

Figura 48: Exibição conjunta dos mapas de distribuição da população urbana para os cenários tendencial (cenário 1) e compacto (cenário 2) de modo a permitir a comparação visual destas distribuições, utilização da ferramenta de agregação de dados (*cluster*)

A representação apresentada foi obtida pela aplicação de uma ferramenta do *software* ArcGIS chamada *Hot Spot Analysis*, a qual agrupa polígonos vizinhos que apresentam valores muito altos ou muito baixos para dado atributo representado pelo mapa, formando *clusters*. Assim, ficam mais evidentes as mudanças geradas em cada cenário quanto à distribuição dos dados no território.

Nota-se que a população está mais concentrada nas periferias e com baixa densidade na região central da cidade no cenário tendencial – cores fortes significando alta e baixa concentração de população no território – enquanto no cenário compacto a população se encontra mais distribuída no território da cidade – pela atenuação das cores do mapa de *clusters*.

Em decorrência dessas conformações espaciais, o cenário tendencial apresentou um acréscimo de 135,6% das emissões em relação a 2010, enquanto o compacto resultou em um aumento de 101,7% até 2050. Considerando que o tamanho e o formato da área urbana e a distribuição da população são as únicas variáveis que sofreram alterações entre os dois cenários, o fato de o cenário compacto ter resultado em um Potencial de Aquecimento Global de 30.033 ton CO₂eq, enquanto o cenário tendencial resultou em 35.078 ton CO₂eq ao ano, demonstra que a ocupação de áreas vazias internas à área já urbanizada, em detrimento à ocupação de novas áreas, resultou em uma diferença de cerca de 33,9% a menos de aumento das emissões em relação a 2010. Além de não necessitar de novas infraestruturas, mas apenas melhorias nas já existentes.

Já a comparação entre esses dois cenários e os de variação da distribuição das atividades demonstra o impacto da alteração do padrão de uso do solo no que diz respeito à diversidade de usos, sobre a eficiência dos deslocamentos na cidade.

Figura 49: Exibição conjunta dos mapas de distribuição das atividades no cenário tendencial (cenário 1) e no tendencial com variação das atividades (cenário 3), de modo a permitir a comparação visual destas distribuições, utilização da ferramenta de agregação de dados (*cluster*)

Figura 50: Exibição conjunta dos mapas de distribuição das atividades no cenário compacto (cenário 2) e no compacto com variação das atividades (cenário 4), de modo a permitir a comparação visual destas distribuições, utilização da ferramenta de agregação de dados (*cluster*)

De acordo com a Figura 49, nota-se que, em comparação ao cenário tendencial (disperso), no cenário em que novas áreas são ocupadas e que as atividades estão mais distribuídas (cenário tendencial com variação das atividades), estas se apresentam menos concentradas na região central e passam a aumentar de quantidade nas periferias (atenuação das cores). No mesmo sentido, a Figura 50 mostra que, em comparação ao cenário compacto, no cenário em que os vazios são ocupados e as atividades são distribuídas (cenário compacto com variação das atividades), a concentração das atividades nas regiões central e um pouco a leste e sul diminui, aumentando suas quantidades no restante do território da cidade.

Esperava-se que estes cenários de variação das atividades resultassem na diminuição das emissões totais em relação aos iniciais, pela presença de atividades em maior quantidade nas diversas regiões da cidade, o que diminuiria as distâncias entre locais de residência e atividades. No entanto, as emissões tiveram um aumento de 6,85% em relação ao cenário compacto e de 5,42% em relação ao cenário tendencial. A explicação encontrada para esse resultado foi que a maior distribuição dos locais de atrações de viagens no território somente traz uma diminuição das distâncias dos deslocamentos se a população realmente passar a desempenhar suas atividades em local próximo às suas residências. Entretanto, se a população continua residindo longe dos respectivos locais de trabalho e estudo, as distâncias percorridas aumentam com a maior distribuição das atividades, e, consequentemente, as emissões também.

Os cenários em que se diminuem as distâncias percorridas entre os pontos de produção e atração de viagens (cenários 5 e 6) foram propostos de modo a responder a esses cenários discutidos acima. Neles, além das atividades estarem distribuídas de forma mais homogênea no território, é simulado que a população passe a trabalhar e estudar em locais próximos à sua residência. E como esperado, o impacto nas emissões destes cenários é positivo, diminuindo em 21,21% em relação ao cenário compacto e em 18,38% em relação ao tendencial.

Quanto aos cenários de variação de utilização dos modos de transporte, propôs-se uma diminuição do uso do transporte individual e um aumento do coletivo, nos moldes do sistema encontrado em Bogotá, Colômbia, cidade referência em sistema de transporte público em países em desenvolvimento. Essa variação de 34,34% para 14,63% no uso do transporte individual e de 19,20% para 61,49% no uso do transporte coletivo gerou uma redução de 41,84% das emissões no cenário compacto inicial e de 40,44% no cenário tendencial inicial. Essa variação modal para os dois cenários resultou, inclusive, em emissões mais baixas que as emissões do cenário base para 2010, 15,6% de redução no caso do compacto e 4,7% no caso

do tendencial. Isso significa que incentivos em políticas de transporte coletivo tem o potencial de fazer com que se reduzam as emissões dos deslocamentos até 2050.

O último cenário proposto teve o objetivo de testar todas as variações em conjunto, de modo a identificar qual seria o impacto nas emissões. Assim, o cenário de combinação das variações (cenário 9) propôs a ocupação dos vazios urbanos da cidade, uma distribuição mais homogênea das atividades no território da cidade, indução da população para que passe a realizar suas principais atividades em locais mais próximos de sua residência, e que o transporte coletivo passe a ser mais utilizado em relação ao individual para realização dos deslocamentos urbanos da população. Este cenário resultou em 74,89% menos emissões em 2050 do que o cenário tendencial, e uma diminuição, em relação ao cenário de 2010, da ordem de 40,9%.

Os resultados de emissões para os cenários propostos e as comparações entre eles demonstram as consequências dos diversos caminhos que o desenvolvimento de uma cidade pode tomar e, portanto, o impacto das escolhas que sustentam esses caminhos. As emissões calculadas funcionam, aqui, como um indicador proposto para se pensar, e até medir, a eficiência dos deslocamentos nas cidades, trazendo, embutidos em seu valor, os outros diversos impactos inerentes ao modelo de urbanização adotado pelas cidades.

Ficou demonstrado que a diminuição da ocupação de novas áreas para a urbanização e o maior uso do transporte coletivo em detrimento do individual são medidas que trazem um aumento na eficiência dos fluxos nas cidades. A maior distribuição dos locais de realização de atividades, unicamente, não promoveu a diminuição das distâncias percorridas diariamente na cidade, mostrando-se necessária a adoção de estratégias para promover que a população passe a residir próximo aos seus locais de trabalho e estudo sejam elaboradas e implementadas para que se consiga o aumento de eficiência dos seus deslocamentos.

Em termos de emissões futuras, a metodologia de elaboração de cenários futuros busca antecipar condições urbanas que resultam em determinadas quantidades de emissões. Esta antecipação pode auxiliar tanto a prever a quantidade de emissões futuras caso as atuais tendências se mantenham, quanto para prever quais variáveis podem ser modificadas para que se alcance o cenário almejado.

Um modo de se alcançar bons resultados é o estabelecimento de compromissos. O estado de São Paulo assumiu um compromisso de redução de emissões como fruto da Conferência Rio+20, realizada em junho de 2012. O Decreto Estadual nº 58.107, de 5 de junho de 2012, em seu anexo de “Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Estado de São Paulo 2020”, aponta para o compromisso do estado em reduzir em 20% as emissões de

dióxido de carbono, tendo por base o ano de 2005, conforme estabelecido na Política Estadual de Mudanças Climáticas. Em uma proposta mais ousada, os líderes do G8, o grupo dos sete países mais industrializados do mundo mais a Rússia, concordaram em reduzir a emissão de gases poluentes em 50% até 2050 (34ª reunião de cúpula anual do G8, ocorrida em julho de 2008). Com efeito, o cenário de combinação das variações traria a redução de emissões, no setor de transportes, maior que a almejada pelo Estado de São Paulo no horizonte de 2050, entretanto, não seria o bastante para cumprir as metas daqueles países europeus.

Vale ressaltar, no entanto, que os cenários propostos foram aplicados às condições encontradas para a cidade de São Carlos, ou seja, segundo as projeções feitas obedecendo às tendências de desenvolvimento desta cidade. As intensidades das variações de conformação do uso do solo e de escolhas da população (variáveis condicionantes) foram definidas de acordo com ponderações plausíveis, e podem ser testadas outras intensidades de acordo com o objetivo do cenário.

A metodologia proposta neste trabalho pode ser adequada, portanto, considerando as condições de cada cidade e segundo as intensidades necessárias para simular as características de um cenário futuro almejado, como é o caso de se assumir um compromisso de redução de emissões. Ademais, as variáveis condicionantes foram definidas segundo o objetivo de se avaliar os efeitos das características do *urban sprawl* nas emissões resultantes dos deslocamentos na cidade, considerando que estas características são uma tendência nas cidades brasileiras como um todo. Entretanto, outras variáveis podem ser aplicadas e simuladas dependendo do objetivo do cenário.

9.4. Importância das emissões no contexto atual

Recentemente, no contexto das mudanças climáticas, os países têm buscado reduzir suas emissões, tendo como guia, acordos e metas internacionais e nacionais. Como ferramenta para se avaliar as emissões de poluentes, e assim, dar base às ações para adaptação e mitigação às mudanças climáticas, estão sendo elaborados inventários de emissões.

A metodologia do IPCC (2006) divide as emissões nos setores ‘energia’, ‘processos industriais e uso de solventes e outros produtos’, ‘mudança no uso da terra e florestas’ e ‘resíduos’. O setor energia inclui emissões por combustão de fontes estacionárias e móveis e

emissões fugitivas. O setor de transportes entra nos inventários no quesito combustão por fontes móveis e, em geral, contabiliza apenas o transporte rodoviário.

Segundo os inventários realizados para o Brasil, as principais fontes de emissões a nível nacional estão relacionadas principalmente às atividades rurais, como o desmatamento e a pecuária. Já no caso de inventários municipais, o setor uso da terra e floresta gera poucas emissões, enquanto o setor que mais gera é o de energia. Nestes últimos inventários, o setor de transportes se destaca pela representatividade percentual das emissões emitidas em relação ao total. É importante citar que os inventários municipais não têm o recorte do perímetro urbano da cidade, mas sim, levam em consideração o transporte rodoviário existente no território do município como um todo.

Os inventários municipais vêm sendo elaborados, principalmente, para os municípios mais populosos do país, salvo poucas exceções. O município de São Paulo teve um inventário de emissões feito com dados de 2009, o Rio de Janeiro com dados de 2005, Belo Horizonte com dados referentes a 2007, e Piracicaba (SP) com dados de 2009 e cerca de, apenas, 300.000 habitantes à época. Em todos eles são estimadas as emissões de GEEs para os setores de energia, resíduos, processos industriais e uso da terra, e é destacada a importância relativa dos setores de energia e resíduos nas emissões totais. No estado de São Paulo, a CETESB tem sido responsável pela elaboração de inventários de emissões veiculares – abarcando apenas as emissões referentes ao setor de transportes – com a aplicação da Metodologia *Bottom-Up*. O relatório elaborado para 2012 apresentou as emissões totais em CO₂ eq para o estado de São Paulo e Regiões Metropolitanas do estado.

Ao se dividir as emissões pelo número de habitantes, tem-se emissões relativas, que permitem comparações. Na Tabela 23, foram compiladas as informações sobre as emissões no setor de transportes das Regiões Metropolitanas (São Paulo/RMSP; Baixada Santista/RMBS; Campinas/RMC; e Vale do Paraíba/RMVP) e do estado de São Paulo (CETESB, 2012), do município de São Paulo (ANTP, 2013), Rio de Janeiro (COPPE, 2005), Belo Horizonte (PMBH, 2009) e Piracicaba (CENAUSP, 2009).

Tabela 23: Informações de emissões do setor de transportes de diferentes regiões e municípios.

Região	População	Emissões-Setor Transportes (mil ton CO₂ eq)	Emissões-Setor Transportes (mil ton CO₂ eq/10.000 hab)	Participação-Setor Transportes/ Emissões Totais (%)
Piracicaba	368.843	460	12,471	41,0
RMBS	1.692.425	1.542	9,111	-
RMVP	2.305.758	2.488	10,790	-
BH	2.413.937	2.086	8,641	65,6
RMC	2.851.931	3.397	11,911	-
RJ	6.101.028	5.502	9,018	41,6
SP	11.376.685	9.813	8,626	61,0
RMSP	19.956.600	15.327	7,680	-
ESP	41.901.219	40.369	9,634	-

Fonte: CETESB (2012), ANTP (2013), COPPE (2005), PMBH (2009) e CENAUSP (2009)

Em termos da importância das emissões de cada setor nas emissões totais dos municípios, o relatório feito para São Paulo informa que o setor de resíduos contribui com 15,6% das emissões e o setor de energia com 81,9%, sendo destacado que o setor de transportes (contabilizado no setor de energia) contribui com 61% das emissões totais estimadas para o município. De acordo com os inventários feitos para a cidade de Belo Horizonte (2007) e Rio de Janeiro (2005), as emissões do setor de energia contribui com 82% e 64% e o setor de transporte representa 65,6% e 41,6% das emissões totais, respectivamente. No caso de Piracicaba, os transportes são responsáveis por 41% das emissões totais municipais, sendo o setor de energia responsável por 62%. Esses dados demonstram a importância das emissões pelo transporte nos recortes dos municípios.

As taxas de emissões por 10.000 habitantes apresentam-se entre os valores 7,680 e 12,471 mil toneladas de CO₂ equivalente. Nota-se, também, que a taxa mais alta é relativa à menor região constante nos levantamentos: o município de Piracicaba. Entretanto, não é possível fazer afirmações sobre esses valores, pois, embora existam dados de emissões, a escassez de informações sobre o comportamento das viagens dentro dessas regiões dificulta a formulação de hipóteses sobre as relações entre as emissões e o uso e ocupação do solo urbano e os modos de transportes.

Entretanto, ao se confrontar as emissões das regiões metropolitanas com as emissões de todo o estado de São Paulo, percebe-se que aquelas equivalem a cerca de 74% das emissões no estado. Ou seja, todos os 26% de emissões restantes para o estado são provenientes das cidades pequenas e médias que o compõe, como é o caso de São Carlos.

Portanto, resulta relevante a preocupação em torno das emissões destas cidades juntamente com as grandes aglomerações urbanas.

É importante ressaltar, também, que as diferentes abordagens metodológicas empregadas nos trabalhos que embasam a presente dissertação podem constituir um fator limitante para a comparação de seus resultados e, por isso, os valores apresentados para o município de São Carlos devem ser considerados dentro de seu contexto.

9.5. Contribuições ao planejamento urbano

A construção dos cenários propostos buscou relacionar padrões de uso e ocupação do solo e comportamentos da população para seus deslocamentos, formando diferentes configurações que retratam opções de desenvolvimento possíveis para a cidade de São Carlos.

O intuito desse processo foi de propor uma maneira de se pensar os rumos das cidades levando-se em consideração essas características e as emissões resultantes no processo de tomada de decisão no planejamento urbano. Com a utilização dos princípios e métodos propostos na pesquisa, os tomadores de decisão tem embasamento para pensar novos caminhos de desenvolvimento para as cidades por meio de uma abordagem da eficiência dos deslocamentos realizados. Trata-se de procedimentos metodológicos adaptáveis à realidade de cada cidade e que, inclusive, podem e devem ser refinados de modo a obterem-se dados cada vez mais consistentes e confiáveis.

As escolhas sobre as políticas públicas adotadas, como incentivos a uma ampliação do uso misto de atividades, investimentos na melhoria do transporte público e incentivos e limitações que decorram na ocupação dos lotes vazios e subutilizados nas cidades podem ser inseridas nos planos, políticas e programas municipais, de modo a dialogar com o contexto atual de preocupações mundiais com as mudanças climáticas. No caso de cidades globais, estas questões vem sendo tratadas, ainda que de forma incipiente; e no caso das cidades menores (como São Carlos), os tomadores de decisão e a população em geral tem a oportunidade de se anteciparem a estas questões e buscarem caminhos que as guiem rumo à maior eficiência dos deslocamentos intraurbanos.

No Brasil, a prática de Avaliação de Impacto tem se consolidado ao âmbito de projetos, em termos de legislação e aplicação do Estudo de Impacto Ambiental, embora sejam observadas falhas, como discorrido no item 4.1. Embora existam experiências brasileiras de

AI no âmbito do planejamento, principalmente com o instrumento de AAE, estas são incipientes e carecem de, de fato, ocorrerem no momento do planejamento, em que as decisões estratégicas ainda não foram definidas.

Nesse âmbito, os instrumentos mais utilizados pelos países atualmente são a AAE e a AS. Ambos os instrumentos utilizam cenários futuros como métodos de prognóstico e embasamento para a escolha entre alternativas de desenvolvimento. A proposta da presente pesquisa se embasou na importância que a construção de cenários futuros vem ganhando na avaliação de impacto, que tem buscado incluir diversas variáveis, como a eficiência energética urbana e as emissões de poluentes. A presente proposta de cenários de emissões, portanto, vem no sentido de auxiliar no processo de consolidação destes instrumentos na prática do planejamento das cidades brasileiras.

10. CONCLUSÕES

A pesquisa cumpriu os objetivos de propor cenários de desenvolvimento alternativos às cidades, de modo a permitir avaliar caminhos mais sustentáveis dos que vem se seguindo com o modelo de urbanização disperso e políticas no setor de transportes encontrados nas cidades brasileiras atualmente. Novas conformações urbanas podem ser concebidas e discutidas em relação ao cenário atual e tendencial, permitindo o rompimento com tendências observadas e indesejadas.

Embora não se tenha feito medições sobre o *urban sprawl* em São Carlos utilizando métricas definidas, e que, portanto, não tenha sido possível quantificar a dispersão da cidade e, tampouco, realizar comparações com outras cidades ou regiões, as análises realizadas permitem inferir que o *urban sprawl* está presente em São Carlos, com crescente intensidade ao longo do tempo.

Pelos resultados de emissões dos cenários, conclui-se que as condições de uso do solo e as escolhas da população pelos modos de transporte e pelos locais de moradia em relação aos locais de trabalho e estudo interferem nas emissões pelos deslocamentos. As tendências observadas para a cidade a partir de dados históricos recentes foram utilizadas para definir o cenário tendencial, segundo o qual a cidade crescerá de forma dispersa e o transporte individual será mais utilizado que o coletivo, resultando em um aumento de emissões da ordem de 135,6% em relação a 2010.

O cenário ‘combinação das variações’ resultou o mais eficiente em termos de emissões e, portanto, de utilização de combustíveis. Nele, a distribuição dos locais de moradia está mais compacta, os locais de realização das atividades estão distribuídos de forma mais homogênea no território, a população opta por residir em locais mais próximos aos locais de trabalho e estudo e o transporte coletivo é mais utilizado que o individual, resultaram em uma quantidade de emissões resultantes dos deslocamentos 74,89% menores que o cenário tendencial e 40,9% menores que o próprio cenário de 2010.

Ficou demonstrado, também, que o transporte individual emite uma massa de poluentes por quilômetro percorrido por passageiro sete vezes maior do que o transporte coletivo. Como consequência, os cenários em que o transporte individual é mais utilizado que o coletivo apresentaram níveis de emissões mais elevados do que os cenários em que o transporte coletivo é priorizado.

A metodologia empregada é composta por métodos respaldados por outros trabalhos no meio científico e no exercício de órgãos confiáveis. Entretanto, há incertezas inerentes a esses métodos, assim como ao exercício de construção de cenários.

São escassas as informações sobre emissões no recorte apenas urbano. Os inventários são feitos considerando as emissões associadas, também, ao transporte em rodovias dentro do limite dos municípios, ao passo que a presente pesquisa focou exatamente nas emissões dos deslocamentos intra-urbanos, ou seja, dentro do perímetro urbano da cidade. Além disso, os inventários são realizados, principalmente, para cidades globais ou capitais brasileiras, em detrimento às cidades menores. Essas são as duas questões principais que acarretam na impossibilidade de comparação dos dados obtidos nesta pesquisa com outros inventários já realizados. É recomendável, portanto, que novos trabalhos sejam feitos a partir de uma análise do recorte urbano, somente, de modo a permitir análises mais detalhadas e possibilitar conclusões sem a interferência de dados de outra origem. A comparação desses dados é relevantes para que conclusões sobre as influências das políticas urbanas nas emissões e eficiência dos deslocamentos nas cidades.

As preocupações em torno das emissões de cidades pequenas e médias são relevantes, representando 26% das emissões do Estado de São Paulo, e levantamentos de emissões para essas cidades deveriam ser mais incentivadas. A aplicação de cenários de emissões é um método preventivo para se pensar caminhos de desenvolvimento que promovam o aumento da eficiência energética dessas cidades, de modo a evitar que o desenvolvimento adotado as oriente à situação encontrada nas metrópoles atualmente. Inclusive, a aplicação dessa ferramenta às metrópoles, também, possibilitaria aumentar sua eficiência energética e reduzir o consumo e descarte de matéria e energia.

A partir de aplicações do método de construção de cenários, cabe aos planejadores estabelecerem metas e tomarem ações para que um cenário futuro almejado possa ser alcançado. A formulação e aplicação de instrumentos de planejamento urbano podem ser direcionadas a resultar nas variações propostas pelos cenários da presente pesquisa para a conformação do uso do solo – distribuição espacial dos locais de moradia, dos empregos e dos estudos – e para criar condições que possibilitem que a população tenha maior oportunidade de escolha entre os modos de transporte e suas locais de moradia.

A utilização conjunta de todos os instrumentos de avaliação de impacto poderia auxiliar numa análise mais holística de todos os efeitos da manutenção e do previsível aumento da ineficiência das cidades, demonstrando de forma empírica os efeitos negativos desse processo. Além disso, a quantificação de emissões referentes aos outros fluxos de

matéria e energia da cidade deve auxiliar o processo de planejamento quanto aos demais setores, como o industrial, de resíduos e da agricultura e pecuária (atividades rurais), gerando informações que embasem ações que resultem no aumento de eficiência energética.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE PREÇOS. **Resumo mensal do preço dos combustíveis por município**. 2010. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Municipio.asp>. Acesso em: 23 mar. 2014.
- ÁLVARES JR., O.M.; LINKE, R.R.A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 2001.
- ALVES, C.D. et al. Análise dos processos de expansão urbana e das situações de vulnerabilidade socioambiental em escala intraurbana. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 2008, Brasília. **Anais...** Brasília: ANPPAS, 2008.
- ANGEL, S.; SHEPPARD, S.C.; CIVCO, D.L. The Dynamics of global urban expansion. Washington: Transport and Urban Development Department; The World Bank, 2005.
- ANGEL, S.; PARENT, J.; CIVCO, D.L. The Fragmentation of urban landscapes: global evidence of a key attribute of the spatial structure of cities, 1990-2000. **Environment and Urbanization**, v.24, n. , p.249-283, 2012.
- ASADI, N.; HABIBI, S. Causes, results and methods of controlling urban sprawl. **Procedia Engineering**, v.21, p.133-141, 2011.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa do município de São Paulo para o período de 2003 – 2009**. São Paulo: ANTP, 2013.
- BANFIELD, E.C. Ends and means in planning. **International Social Science Journal**, v.11, n.3, 1959. Re-impressão, UNESCO.
- BARLES, S. A Material flow analysis of Paris and its region. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL CIBAT ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE, 2007. França. **Proceedings...** [S.l.:s.n.], 2007. p.579-584.
- BRASIL. **Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007, institui o comitê interministerial sobre mudança do clima - CIM, orienta a elaboração do plano nacional sobre mudança do clima, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6263.htm>. Acesso em: 04 abr. 2014.
- BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia da Inovação. **2º Inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa**. Brasília: Esplanada dos Ministérios, 2010.
- BUARQUE, S.C. **Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2003. (Texto para discussão, 939).
- CARBONELL, A.; YARO, R. American spatial development and the new megalopolis. **Land Lines**, v.17, n.2, 2005. Disponível em: <http://www.lincolnst.edu/pubs/1009_American-Spatial-Development-and-the-New-Megalopolis>. Acesso em: 11 mar. 2014.

CARRARA, A.C.H. **A Adoção da abordagem de empreendimentos para a gestão ambiental de cidades**. 2010. Monografia (Trabalho de Graduação) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Manual de capacitação em mudança climática e projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo**. Brasília: CGEE, 2008.

CHAKER, A. et al. A Review of environmental assessment in 12 selected countries. **Environment Impact Assessment Review**, v.26, p.15-56, 2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **1º Relatório de emissões veiculares no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2011.

_____. **2º Relatório de emissões veiculares no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2012.

COOPE. **Inventário de emissões de gases do efeito estufa da cidade do Rio de Janeiro**. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2005.

COSTA, S.M.F.; SILVA, D.C. Caracterização da dispersão residencial (urban sprawl) utilizando geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: INPE, 2007. P.5167-5174.

D'AGOSTO, M.A.; SOUZA, C.D.R. Modelo de quatro etapas aplicado ao planejamento de transporte de carga. **Journal of Transport Literature**, v.7, n.2, p.207-234, 2013.

DEÁK, C. **A Busca das categorias da produção do espaço**. 2001. 213p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

_____. Informalidade nas sociedades de elite da América Latina. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU/USP**, v.18, n.29, p.96-113, jun. 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Dados de frota de veículos para os municípios**. São Paulo: DENATRAN, 2012.

DODMAN, D. Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories. **Environment and Urbanization**, v.21, p.185-201, 2009.

DOZENA, A. **São Carlos e seu desenvolvimento: contradições urbanas de um pólo tecnológico**. 2008. 112p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

DUARTE, C.G. et al. O Papel da avaliação de sustentabilidade na avaliação de impacto. In: CONFERÊNCIA DA REDE DE LÍNGUA PORTUGUESA DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS, 2./ CONGRESSO BRASILEIRO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO, 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Avaliação de Impacto, 2012.

DUVIGNEAUD, P.; SMET, S.D. L'Ecosystème urbs, in l'écosystème urbain bruxellois, in productivité en belgique. In: DUVIGNEAUD, P.; KESTEMONT, P. (Ed.). **Travaux de la section belge du programme biologique international**. Bruxelles: [s.n.], 1977. p.581-597.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Avaliação do comportamento dos usuários de veículos flex fuel no consumo de combustíveis no Brasil**. Rio de Janeiro: EPE, 2013.

EWING, R.; PENDALL, R.; CHEN, D. **Measuring Sprawl and its Impact**. Washington: Smart Growth America, 2002.

FANG, S. et al. The Impact of interactions in spatial simulation of the dynamics of urban sprawl. **Landscape and Urban Planning**, v.73, p. 294-306, 2005.

FARRENY, R.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL, J. Energy intensity and greenhouse gas emission of a purchase in the retail park service sector: an integrative approach. **Energy Policy**, v.36, p.1957–1968, 2008.

FISCHER, T.B. Benefits arising from SEA application – a comparative review of North West England, Noord-Holland, and Brandenburg-Berlin. **Environment Impact Assessment Review**, v.19, p.143–173, 1999.

_____. **Theory and practice of strategic environmental assessment: towards a more systematic approach**. London: Earthscan, 2007.

FRANK, L.; STONE JR., B.; BACHMAN, W. Linking land use with household vehicle emissions in the central Puget Sound: methodological framework and findings. **Transportation Research**, v.5, p.173–196, 2000.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **A Agenda demográfica e de políticas públicas do Estado de São Paulo**. São Paulo: SEADE, 2010.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Dados sobre os municípios**. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfilMunEstado.php>>. Acesso em: 28 jan. 2014.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Informação dos municípios paulistas – população e estatísticas vitais**. São Paulo: SEADE. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/index.php?option=com_jce&Itemid=39&tema=5>. Acesso em: 20 jan. 2014a.

GABARRELL, X.; VIVANCO, D.F.; VENTOSA, I.P. Building waste management core indicators through spatial material flow analysis: net recovery and transport intensity indexes. **Waste Management**, v.32, p.2496–2510, 2012.

GIRARDET, H. **The Gaia atlas of cities**. London: Gaia Books, 1992.

_____. **Creating sustainable cities**. 2nded. London: Green Books, 1999.

GLASSON, J.; THERIVEL, R.; CHADWICK, A. **Introduction to environmental impact assessment**. 2nded. London: UCL Press, 1999.

GONZÁLEZ, A. et al. A Decision-support system for sustainable urban metabolism in Europe. **Environmental Impact Assessment Review**, v.38, p.109-119, 2012.

GUERRERO, E.M.; GUIÑIRGO, F. Indicador espacial del metabolismo urbano. Huella Ecológica de la ciudad de Tandil, Argentina. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v.9, p.31-44, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base de informações do censo demográfico 2000**: resultados do universo por setor censitário. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

_____. **Base de informações do censo demográfico 2010**: resultados do universo por setor censitário. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas para cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/233PQ>>. Acesso em: 4 abr. 2013.

_____. **Censos demográficos de 1950, 1960, 1970, 1980, 1991, 2000, 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Texto para Discussão. Brasília, 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Hayama: IPCC, 2006.

_____. **Third assessment report** - climate change 2001 - complete online versions synthesis report. Working Group I, IPCC, 2001. Disponível em: <http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/248.htm>. Acesso em: 22 Mar. 2014.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR IMPACT ASSESSMENT. **O Que é a Avaliação de Impacto?**. 2009. Disponível em: <[http://www.iaia.org/publicdocuments/special-publications/What is IA_pt.pdf](http://www.iaia.org/publicdocuments/special-publications/What%20is%20IA_pt.pdf)>. Acesso em: 31 jul. 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook**. Head of communication and information office. Paris: IEA, 2008.

_____. **A tale of renewable cities - A policy guide on how to transform cities by improving energy efficiency in urban transport systems**. IEA, 2013.

INGLATERRA. **Sustainability appraisal of regional spatial strategies and local development documents** – guidance for regional planning bodies and local planning authorities. London: Office of the Deputy Prime Minister, 2005a. Disponível em: <http://www.caerphilly.gov.uk/pdf/Environment_Planning/LDP-Examination-Documents/UK22.pdf>. Acesso em: 10 out. 2013.

_____. **A Practical guide to the strategic environmental assessment directive**. London: Office of the Deputy Prime Minister, 2005b.

_____. **Planning and compulsory purchase act 2004**. Leis. Disponível em: <<http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2004/5/contents>>. Acesso em: 23 Mar. 2014.

JORDI, O.S. et al. Service sector metabolism accounting for energy impacts of the montjuic urban park in Barcelona. **Journal of Industrial Ecology**, v.11, n.2, 2007.

KENNEDY, C.; PINCETL, S.; BUNJE, P. The Study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. **Environmental Pollution**, v.159, p.1965-1973, 2011.

KØRNØV, L.; WEJS, A. SEA screening of voluntary climate change plans: A story of non-compliant discretion. **Environmental Impact Assessment Review**, v.41, p.64– 69, 2013.

KOWARICK, L. **A Espoliação urbana**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1980. (Coleção Estudos Brasileiros, 44).

LANGENBUCH, J.R. **A Estruturação da grande São Paulo: estudo de geografia urbana**. 1971. 354p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Universidade de Campinas, Campinas, 1971.

LEONELLI, G.C.V. **Da Gleba ao lote: dinâmica da insustentabilidade ambiental urbana**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

LIMA, R.P. **O Processo e o (des)controle da expansão urbana de São Carlos (1857-1977)**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

MACLAREN, V. **Developing indicators of urban sustainability: a focus on the canadian experience**. intergovernmental committee on urban and regional research. Toronto: ICURR, 1996.

MADEIRA, J.L.; SIMÕES, C.S. Estimativas preliminares da população urbana e rural segundo as unidades da federação, de 1960/1980 por uma nova metodologia. **Revista Brasileira de Estatística**, v.33, n.129, p.3-11, 1972.

MALVESTIO, A. C.; MONTAÑO, M. effectiveness of Strategic Environmental Assessment applied to renewable energy in Brazil. **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**. v. 15, n. 2, 2013.

MALVESTIO, A.C. **Avaliação de efetividade da avaliação ambiental estratégica como instrumento de política ambiental no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**. Relatórios de referência - emissões de gases de efeito estufa por queima de combustíveis: abordagem *bottom-up*. Brasília: MCT, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Avaliação ambiental estratégica**. Brasília: MMA/SQA, 2002.

OJIMA, R. Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos: uma abordagem socioespacial em aglomerações urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v.24, n.2, p.277-300, 2007.

_____. Novos contornos do crescimento urbano brasileiro? O conceito de *urban sprawl* e os desafios para o planejamento regional e ambiental. **GEOgraphia**, v.10, n.19, 2008.

OJIMA, R.; HOGAN, D.J. População, urbanização e ambiente no cenário das mudanças ambientais globais: debates e desafios para a demografia brasileira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 16., 2008, Caxambu. **Anais...** Belo Horizonte: ABEP, 2008.

OLIVEIRA, I.S.D.; MONTAÑO, M.; SOUZA, M.P. **Avaliação ambiental estratégica**. São Carlos: Suprema, 2009.

OPPERMANN, P.A. **Estudo da avaliação ambiental estratégica no Brasil em perspectiva comparada**. 2012. 108p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

OPPERMANN, P.A.; MONTAÑO, M. Strengths and weaknesses of SEA in Brazil. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNACIONAL ASSOCIATION FOR IMPACT ASSESSMENT: impact assessment and responsible development for infrastructure, business and industry, 31., 2011, Puebla. Disponível em: <<http://www.iaia.org/conferences/iaia11/uploadedpapers/review/papers-drafts.aspx>>. Acesso em: 9 Oct. 2011.

PCPV: plano de controle de poluição veicular do estado de São Paulo: 2011-2013. São Paulo: CETESB; Secretaria do Meio Ambiente, 2013.

PEITER, F.S. **Avaliação da qualidade ambiental interna no transporte coletivo da cidade de São Carlos**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

PÉTI, M. A Territorial understanding of sustainability in public development. **Environmental Impact Assessment Review**, v.32, p.61–73, 2012.

PETTS, J. (Ed.). **Handbook of environmental impact assessment**. Oxford: Blackwell Science, 1999. v.1, p.12-32.

PINCETL, S.; BUNJE, P.; HOLMES, T. An Expanded urban metabolism method: toward a systems approach for assessing urban energy processes and causes. **Landscape and Urban Planning**, v.107, p.193–202, 2012.

PLANO de ações para a redução de emissões dos gases de efeito estufa da cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE/UFRJ, 2011.

POLIDORO, M.; LOLLO, J.A.; BARROS, M.V.F. Sprawl e o modal de transporte motorizado: impactos na cidade de Londrina, PR. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.4, n.1, p.33-46, jan./jun. 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **Inventário municipal de emissões de gases de efeito estufa**. Belo Horizonte, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS. **Plano local de habitação de interesse social de São Carlos**. Etapa 2 diagnóstico - relatório final. São Carlos: PROHAB; TEIA, 2010.

_____. **Dados disponibilizados pela Secretaria de Trânsito de São Carlos**. São Carlos, 2010a.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS. **Cadastro de novos loteamentos aprovados ou em fase de aprovação**. São Carlos: 2010b. Arquivos eletrônicos.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS. Revisão do plano diretor de 2005 elaborada por equipe do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Carlos, 2013.

REGRA, A.P.M. **Cenários como ferramenta na gestão ambiental municipal** – um estudo de caso em Brotas. 2013. 165p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

RIERADEVALL, J. et al. The Metabolism of cultural services. Energy and waterflows in museums. **Energy and Buildings**, v.47, p.98-106, 2012.

RINCÓN, L. et al. Evaluation of the environmental impact of experimental buildings with different constructive systems using material flow analysis and life cycle assessment. **Applied Energy**, v.109, p.544–552, 2013.

ROCHA, G.R. **Análise de ferramentas computacionais para planejamento estratégico do uso do solo e transportes**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

ROCHAT, D. et al. Combining material flow analysis, life cycle assessment, and multiattribute utility theory: assessment of end-of-life scenarios for polyethylene terephthalate in Tunja, Colombia. **Journal of Industrial Ecology**, v.17, n.5, p.642-655, 2013.

ROMERO, H. et al. Assessing urban environmental segregation (UES). The Case of Santiago de Chile. **Ecological Indicators**, v.23, p.76-87, 2012.

ROMPAEY, A.V.; POELMANS, L. Detecting and modelling spatial patterns of urban sprawl in highly fragmented areas: a case study in the flanders-brussels region. **Landscape and Urban Planning**, v.93, p.10-19, 2009.

ROSA, M. V. F.; OBELHEIRO, M. R.;BOTTESINI, G; LINDAU, L. A. Estimando as Emissões atuais e futuras do transporte urbano no Brasil. **Transporte em Transformação XIII**, p. 125-141. 2008.

SADLER, B. A Framework for environmental sustainability assessment and assurance. In: PETTS, J. (Ed.). **Handbook of environmental impact assessment**. Oxford: [s.n.], 1999. v.1.

SÁNCHEZ, L.E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2.ed.atual. e ampl. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

SANTOS, R.F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo. Oficina de Textos, 2004.

SÃO PAULO. **Plano de ação para mitigação e adaptação da cidade de São Paulo às mudanças climáticas**. São Paulo: Comitê Municipal do Clima e Economia e seus Grupos de Trabalho, 2011.

SECRETARIA DA EDUCAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Dados do censo escolar**. Disponível em:<www.educacao.sp.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2011.

SERRA, P.; SAURÍ, D.; CALALÁN, B. Urban sprawl in the mediterranean? Patterns of growth and change in the Barcelona Metropolitan Region 1993-2000. **Landscape and Planning**, v.85, p.174-284, 2008.

SHI, Y. et al. Characterizing growth types and analyzing growth density distribution in response to urban growth patterns in peri-urban areas of lianyungang city. **Landscape and Urban Planning**, v.105, p.425-433, 2012.

SIERRA CLUB. **Sprawl: the dark side of the american dream**. 1998. (Research Report). Disponível em:<<http://www.sierraclub.org/sprawl/report98/report.asp>>. Acesso em: 13 Oct. 2012.

STONE JR., B. Urban sprawl and air quality in large US cities. **Journal of Environmental Management**, v.86, p.688-698, 2007.

UNATED NATIONS-HABITAT. **Planning and design for sustainable urban mobility: policy directions**. [S.l.:s.n.], 2013. (Global report on human settlements. UN-HABITAT)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO REIO DE JANEIRO. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. **Inventário de emissões de gases do efeito estufa da cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2005.

VENKATESH, G.; BRATTEBØ, H. Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: case study of Oslo (Norway). **Energy**, v.36, n.2, p.792-800, 2011.

WENDE, W. et al. Climate change mitigation and adaptation in strategic environmental assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v.32, p.88-93, 2012.

WOLMAN, A. The Metabolism of cities. **Scientific American**, v.213, n.3, p.178-193, 1965.

ANEXOS

ANEXO A – Fatores de emissão para veículos leves novos

Utilizado para veículos movidos a gasolina e flex movido a gasolina e etanol para os poluentes CO₂ e CH₄, considerando os dados referentes ano de 2010; e para os veículos movidos a etanol com os dados do ano 2006.

Ano	Combustível	Fase Proconve	CO	HC			NOx	RCHO	CO ₂	Autonomia ²	MP
			(g/km)	Total (g/km)	NMHC (g/km)	CH ₄ ³ (g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(km/L)	(g/km)
2005	Gasolina C	L4	0,34	0,10	0,08	0,02	0,09	0,0040	192	11,3	0,0011
	Etanol		0,82	0,17	0,12	0,05	0,08	0,0160	160	8,6	nd
	Flex-Gasol.C		0,45	0,11	0,08	0,03	0,05	0,0030	188	11,5	0,0011
	Flex-Etanol		0,39	0,14	0,10	0,04	0,10	0,0140	180	7,7 ⁵	nd
2006	Gasolina C	L4	0,33	0,08	0,06	0,02	0,08	0,0020	192	11,3	0,0011
	Etanol		0,67	0,12	0,09	0,03	0,05	0,0140	200	6,9	nd
	Flex-Gasol.C		0,48	0,10	0,08	0,02	0,05	0,0030	185	11,7	0,0011
	Flex-Etanol		0,47	0,11	0,08	0,03	0,07	0,0140	177	7,8	nd
2007 ⁶	Gasolina C	L4	0,33	0,08	0,06	0,02	0,08	0,0020	192	11,3	0,0011
	Etanol ⁷		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Flex-Gasol.C		0,48	0,10	0,08	0,02	0,05	0,0030	185	11,7	0,0011
	Flex-Etanol		0,47	0,11	0,08	0,03	0,07	0,0140	177	7,8	nd
2008	Gasolina C	L4	0,37	0,04	0,03	0,01	0,04	0,0014	223	9,74	0,0011
	Flex-Gasol.C		0,51	0,07	0,05	0,02	0,04	0,0020	185	11,7	0,0011
	Flex-Etanol		0,71	0,05	0,04	0,01	0,05	0,0152	187	7,38	nd
2009	Gasolina C	L5	0,24	0,03	0,023	0,007	0,02	0,0018	222	9,9	0,0011
	Flex-Gasol.C		0,32	0,04	0,034	0,006	0,03	0,0019	178	11,5	0,0011
	Flex-Etanol		0,53	0,07	0,044	0,026	0,03	0,0113	169	7,8	nd
2010	Gasolina C	L5	0,22	0,03	0,023	0,007	0,03	0,0015	208	10,4	0,0011
	Flex-Gasol.C		0,28	0,04	0,031	0,009	0,03	0,0015	177	12,2	0,0011
	Flex-Etanol		0,51	0,09	0,040	0,050	0,04	0,0093	171	8,3	nd

Fonte: CETESB (2012, p. 68)

ANEXO B – Fatores de emissão de N₂O para veículos leves de ciclo Otto

Utilizado para os valores de fatores de emissões do poluente N₂O para os veículos leves.

Ano	FE N ₂ O (g/km)			
	Gasolina C	Etanol Hidratado	Flex	
			Gasolina C	Etanol Hidratado
2000	0,022	0,017	nd	nd
2001	0,022	0,017	nd	nd
2002	0,022	0,017	nd	nd
2003	0,021	0,017	0,023	0,017
2004	0,021	0,017	0,022	0,017
2005	0,021	0,017	0,021	0,017
2006	0,021	0,017	0,020	0,017
2007	0,021	nd	0,020	0,017
2008	0,024	nd	0,020	0,017
2009	0,025	nd	0,020	0,017
2010	0,034	nd	0,019	0,017
2011	0,024	nd	0,024	0,017
2012	0,024	nd	0,026	0,017

Fonte: CETESB (2012, p. 78)

ANEXO C – Fatores de emissões de CO₂ (kg/L), metano e óxido nitroso de veículos a diesel (g/km) e autonomia para veículos a diesel (km/L)

(a) Fatores de emissão de CO₂ (kg/L); (b) fatores de emissão de metano e óxido nitroso de veículos a diesel (g/km); (c) autonomia para veículos a diesel (km/L).

O fator de emissão de CO₂ em g/km para ônibus urbano novo foi calculado pela equação:

$$Fator\ de\ emiss\tilde{a}\tilde{o}_{CO_2} \left(\frac{g}{km} \right) = \frac{Fator\ de\ emiss\tilde{a}\tilde{o}_{CO_2} \left(\frac{kg}{L} \right) * 1.000}{Autonomia\ para\ \tilde{o}\tilde{n}\tilde{i}\tilde{b}\tilde{u}\tilde{s}\ \tilde{u}\tilde{r}\tilde{b}\tilde{a}\tilde{n}\tilde{o}\ \tilde{a}\ \tilde{d}\tilde{i}\tilde{e}\tilde{s}\tilde{e}\tilde{l}\ \left(\frac{km}{L} \right) (2010)}$$

(a)

Gasolina A	Etanol Anidro	Etanol Hidratado	Óleo Diesel
2,269	1,233	1,178	2,671

(b)

Gás de Efeito Estufa	Fator de Emissão (g/km)	
	Comerciais Leves Diesel	Caminhões e Ônibus
CH ₄	0,005	0,06
N ₂ O	0,02	0,03

(c)

Categoria	Autonomia (km/L)			
	2009	2010	2011	2012
Comerciais Leves (leve)	9,3	8,5	10,0	10,0
Comerciais Leves (pesado)	9,3	8,5	10,0	10,0
Caminhões Semi-leves	9,1	9,1	9,1	9,1
Caminhões Leves	5,6	5,6	5,6	5,6
Caminhões Médios	5,6	5,6	5,6	5,8
Caminhões Semi-pesados	3,4	3,4	3,4	3,6
Caminhões Pesados	3,4	3,4	3,4	3,6
Ônibus Rodoviários	3,2	3,2	3,2	3,4
Ônibus Urbanos	2,8	2,8	2,8	2,9

Fonte: CETESB (2012, p. 80)

APÊNDICES

APÊNDICE A – Planilhas utilizadas para aplicação do Método AiBi para a projeção da população da cidade de São Carlos para o ano de 2050

Equações			
$ai=Pi(2010)-Pi(2000)/P(2010)-P(2000)$			
$bi=Pi(2000)-ai*P(2000)$			
$Pi(2050)=ai*P(2050)+bi$			
Dados de população do Estado de São Paulo (SEADE, 2010)			
P(2050)	47.204.293		
P(2010)	41.262.199		
P(2000)	37.799.568		
Resultados			
Projeções	2000	2010	2050
São Carlos	192.998	221.936	262.754

A planilha de cálculo abaixo mostra os primeiros e últimos dados da planilha original, para que coubesse o exemplo neste anexo. A original conta com valores de 645 municípios.

Nome do município	População 2000	População 2010	ai	bi	Pi(2050)
Adamantina	33.497	33.797	0,000071094	30.864,213112034	34.220
Adolfo	3.684	3.557	0,000030096	4.798,546449238	3.378
Aguai	28.195	32.168	0,000941523	6.671,874352954	37.772
Águas da Prata	7.131	7.580	0,000106404	3.190,595624345	8.213
Votorantim	95.925	108.872	0,003068186	17.697,306128291	127.134
....					
São Carlos	192.998	221.936	0,006857740	60.960,623213137	262.754
....					
Votuporanga	75.641	84.728	0,002153441	4.106,114836470	97.546
Zacarias	1.947	2.334	0,000091711	1.449,295085475	2.880
São Paulo	37.032.403	41.252.160			47.204.293