

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA
IDENTIFICAR ESPACIALMENTE OS NÍVEIS DE
EMIÇÃO DE GASES DERIVADOS DE VEÍCULOS
AUTOMOTORES NAS ÁREAS URBANAS**

GLEND BENITA GONZALES TACO

ORIENTADOR: JOSÉ MATSUO SHIMOISHI, DR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

PUBLICAÇÃO: T.DM – 016 A/2006

BRASÍLIA/DF: AGOSTO – 2006.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA IDENTIFICAR
ESPECIALMENTE OS NÍVEIS DE EMISSÃO DE GASES DERIVADOS DE
VEÍCULOS AUTOMOTORES NAS ÁREAS URBANAS**

GLENDABENITA GONZALES TACO

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.**

APROVADO POR:

Prof. JOSÉ MATSUO SHIMOISHI, Dr. (ENC – UnB)
(Orientador)

Prof^a. YAEKO YAMASHITA, PhD (ENC – UnB)
(Examinador Interno)

DALVE ALEXANDRE SORIA ALVES, Dr. (SET/DF)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA / DF, 28 DE AGOSTO DE 2006.

FICHA CATALOGRÁFICA

TACO, GLENDA BENITA GONZALES.

Desenvolvimento de uma metodologia para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores nas áreas urbanas.

2006, 156p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2006).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Transporte e Meio Ambiente

2. Poluição veicular.

3. Controle da poluição do ar

4. Sistemas de Informação Geográfica.

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

TACO, G.B.G. (2006). Desenvolvimento de uma metodologia para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores nas áreas urbanas. Dissertação de Mestrado, Publicação T.DM-016A/2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 156 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Glenda Benita Gonzales Taco.

TÍTULO: Desenvolvimento de uma metodologia para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores nas áreas urbanas

GRAU: Mestre ANO: 2006

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

GLENDA BENITA GONZALES TACO

Calle Paraguay N° 220, Distrito Jacobo D' Hunter. Arequipa – Peru.
SQN 407 Bloco G Ap 104 Asa Norte CEP: 70850070. Brasília, DF – Brasil.

DEDICATÓRIA

*A Deus,
por tudo que sou nessa vida, por ser luz e força na minha vida.*

*Por todo o amor que dia após dia têm dado para mim,
dedico este trabalho:*

*Aos meus pais Benito y Natividad,
aos meus irmãos e irmãs
Jorge, Rosa, Willberth, Pastor e Madeleine,
as minhas cunhadas Bertha e Josefina,
ao meu cunhado Carlos
e aos meus sobrinhas e sobrinhas
David, Carol, Gabriel, Fernando, Poldar, Viky e Madeleine.*

*E ao meu irmão Edgard (in memoriam)
por me motivar sonhar sonhos de grandeza.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo que sou nessa vida, por ter me dado força e me iluminar nos momentos mais difíceis. Obrigada Deus!, por ter colocado pessoas generosas no meu caminho e ter me dado forças para perseverar.

Este trabalho é uma rica experiência profissional e pessoal de aprendizagem que somente se tornou possível graças à solidariedade, colaboração e disponibilidade de pessoas muito especiais, a quem dedico os meus sinceros agradecimentos:

A minha querida família, meus pais, Benito e Natividad, aos meus irmãos Jorge, Willberth, Rosita, Pastor, Madeleine e Jorge, por acreditar em mim, e me dar forças. Los Amo!

À Professora Yaeko Yamashita, obrigada pela oportunidade que me proporcionastes contribuindo minha visão sobre os transportes e meio ambiente, sobre tudo, pelo incentivo, orientação e paciência na elaboração deste trabalho. Muito obrigada por tudo!

Ao professor José Matsuo Simoishi, obrigada pelo estímulo e orientação.

Ao membro da banca examinadora, Dalve A. Soria Alves Dr., pelas importantes considerações e valiosas contribuições.

Ao meu querido irmão Pastor, amigo, orientador e professor, graças pelo estímulo, incentivo, caráter ético e muita paciência, e por ser meu suporte nesses dois anos de mestrado. Obrigada por me mostrar o Verdadeiro Caminho. Minha eterna gratidão!

A meus queridos amigos arquitetos, Ana Paula B. G. Barros e Valério A. S de Medeiros, pela amizade, forças e ânimos proporcionados nos momentos mais difíceis, e pelas valiosas contribuições para o término desta dissertação. “A viagem mais importante que podemos fazer na vida é encontrar pessoas pelo caminho... eu encontrei a vocês, os meus amigos”. Minha eterna gratidão!

Aos professores da Universidade de Brasília do Programa de Pós Graduação em Transportes, sempre prestativos a me ajudar. Agradeço também aos funcionários, em especial a Julio, pelo atendimento de qualidade, sempre prestativo em me auxiliar nas questões administrativas.

Aos colegas da turma: Vicente, Leandro Sertanejo, Leandro Bernardes, João, Gildemir, Ricardo, Mônica, Marianne, Fredy, Alessandro, Marcelo P., Ednardo, e os demais que passaram no decorrer do curso, por ser sempre prestativos comigo. Em especial a Regina e Aline, obrigada pelo apoio nesses dois anos de mestrado.

A Fátima, Edna, Célia e Eni, por compartilhar 7 meses de moradia agradável e amizade. Em especial a Fátima, amiga prestativa e incondicional, e por me ensinar a depender de Jesus, ainda tendo dificuldades em nossas vidas. Agora somos irmãs para sempre!

A todos os irmãos e irmãs da Igreja em Brasília, em especial, a Irene e César, Lúbia e Márcio e Eugenio, por ser meu suporte espiritual e pelas suas orações. A minha amada irmã Dora, pelo seu carinho e cuidado de mãe, e suas orações. Jesus é nossa força!

Aos meus queridos amigos peruanos, irmãos em Cristo, Eduardo e Rocio, e as crianças, por a amizade e o calor de família oferecida desde minha chegada ao Brasil. Jesus é nosso Senhor!

Aos meus amigos, Dom Ivan e Dona Silvia, Magda e Fernando, Inerves e Regina, Isabel, pela força e alento proporcionado no processo e término deste trabalho. A Cíntia e Salomé, por suas valiosas contribuições, apoio e ânimos proporcionados na etapa final deste trabalho.

Aos meus prezados amigos peruanos, Rolando, Rocio, José Antonio, Julio, Sonia, Armando e Elizabeth, Esmildo, Lourdes, Gerardo, Elizabeth Curro, Olinda, Fresia, Hilda, Paula, Richard, Gladys, Karina, Jenny, Jéssica, Marita, Luz, Milagros, Gaby, e todos aqueles amigos que sempre acreditaram em mim, os que ainda na distância me deram incentivos para vencer esta etapa em minha vida.

Ao meu querido amigo Rosendo H.M., obrigada pela torcida, força e por acreditar em minha capacidade, por ser meu suporte nos momentos difíceis, por me escutar e me escrever ainda na distância, pelo sim e pelo não, pela mensagem de antemão, pelo ombro amigo, pelo choro aflito, pelo sorriso querido. Nossa amizade é eterna. Obrigada amigo!

A “Jorgito” Carcausto Ymata (in memoriam), meu amigo incondicional, obrigada pelos anos de amizade, por as vivências na universidade...uma vez mais conseguimos juntos um sonho... Agora e sempre, sei que estarás comigo. Obrigado por tudo, eterno amigo!

A meu professor e amigo, arquiteto Felix Solís, pelo ensino, pelo incentivo, pela paciência, por acreditar na minha capacidade e me dar sempre uma oportunidade para terminar minha profissão...me ensinaste a perseverar. Obrigada por me ajudar a realizar meus sonhos.

Ao DETRAN e DER, especialmente a Mônica Soares, Kélen, Patrícia e Mário, pela disponibilidade e ajuda na obtenção dos dados neste trabalho.

Ao Ítalo Marques Filizola, pelas contribuições e conhecimentos proporcionados para realização deste trabalho.

À CAPES, que possibilitou, através da concessão de uma bolsa de estudos, minha permanência em Brasília e, assim, o desenvolvimento deste trabalho.

A todas as demais pessoas, não mencionadas, porem não esquecidas, que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Brasil e ao brasileiro, por ter sido hospitaleiro e amistoso durante minha estadia. Deus abençoe estas terras formosas!

*"O valor das coisas não está no tempo em que elas duram,
mas na intensidade com que acontecem.
Por isso existem momentos inesquecíveis,
coisas inexplicáveis e
pessoas incomparáveis".*

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA IDENTIFICAR ESPACIALMENTE OS NÍVEIS DE EMISSÃO DE GASES DERIVADOS DE VEÍCULOS AUTOMOTORES NAS ÁREAS URBANAS

RESUMO

A poluição do ar vem se intensificado devido ao crescimento urbano aliado ao aumento acelerado do número de veículos motorizados, tornando-se necessária a adoção de instrumentos que auxiliem no controle dos seus efeitos no meio ambiente e à população. Embora existam programas de controle das emissões, são escassos os estudos que permitam avaliar espacialmente os níveis de emissão dos veículos em áreas urbanas. Nesse contexto, o presente trabalho desenvolveu uma metodologia de caráter estratégico para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados dos veículos automotores nas áreas urbanas, utilizando os fluxos de tráfego e valores referenciais de emissão veicular de gases de veículos automotores leves de ciclo Otto (CO, NO_x) em reais condições de operação obtidos por Filizola (2005). Os valores referenciais expressos em grama por quilômetro rodado (g/km), permitem criar cenários dos níveis de emissão veicular nas principais vias do sistema viário. A metodologia inclui a geração de mapas de níveis de emissão veicular utilizando os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a criação do banco de dados geográficos.

A metodologia foi aplicada no estudo de caso em Brasília, Plano Piloto-DF, sendo utilizados os dados de contagem volumétrica dos controladores eletrônicos de velocidade das principais vias e valores referenciais de emissão veicular obtidos por Filizola (2005). A representação espacial dos níveis de emissão veicular no SIG permitiu identificar que as principais vias do sistema apresentam os máximos níveis de emissão do CO e NO_x. Infere-se que os altos fluxos de veículos nessas vias podem gerar uma menor velocidade média, provocando congestionamentos, e, por conseguinte, maiores níveis de emissão veicular.

Dessa forma, a metodologia contribui para o controle da poluição do ar identificando locais críticos e permitindo a utilização de estratégias de controle do tráfego de veículos nas áreas urbanas no intuito de melhorar a qualidade de vida da população.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY TO IDENTIFY SPATIALLY EMISSION GASES LEVELS FROM VEHICLES IN URBANS AREAS

ABSTRACT

The air pollution caused by vehicles is increasing quickly because of urban growth associated with high figures in car sales, in such a way that is necessary to adopt policies to control its effects over the environment and urban population. Although there are federal regulations agencies and programmes for controlling emissions, these have not proved to be sufficiently supported by studies to measure spatially emissions levels related to vehicles in cities.

Regarding this approach, in the paper it was developed a methodology to identify spatially gases emissions levels from vehicles in urban areas, applying traffic flow and standard values for vehicular emissions in Brazil. The methodology, having a strategic feature, was developed considering emissions levels from Otto cycle in real operation conditions. These data was obtained from Filizola (2005) and presented in grams by kilometer (g/km), what allows simulating sceneries for vehicular emissions levels in the major roads of a traffic system, both in big or small cities. Geographic Information System – GIS techniques were also used in order to create a database and generate thematic maps.

The selected case study was the Pilot Plan, in the Federal District – Brazil, where were used volumetric data from electronic speed controllers in Brasilia's major roads and reference values for vehicles emissions suggested by Filizola (2005). Results from spatial representation in the GIS software indicated that the major system roads have the highest emission levels of CO and NO_x. It seems the high amount of vehicles in these roads promotes a lower average speed in these roads, resulting in traffic jams and high levels of vehicular emissions.

It is argued the proposed methodology contributes to control air pollution, once identifies critical points, allowing planners to use this approach as a tool for strategic traffic control in urban areas, intending to reach a better quality of life for inhabitants.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. APRESENTAÇÃO	1
1.2. JUSTIFICATIVA	3
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. <i>Objetivo geral</i>	5
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	5
1.4. HIPÓTESE	5
1.5. METODOLOGIA	5
2. TRANSPORTES E MEIO AMBIENTE	8
2.1. APRESENTAÇÃO	8
2.2. POLUIÇÃO DO AR	8
2.2.1. <i>O processo da poluição do ar</i>	9
2.2.2. <i>Fontes da poluição atmosférica</i>	12
2.2.3. <i>Principais poluentes atmosféricos</i>	12
2.2.4. <i>Efeitos dos poluentes atmosféricos</i>	14
2.3. POLUIÇÃO VEICULAR	18
2.3.1. <i>Tipos de emissão veicular</i>	18
2.3.1.1. Emissões de Gases do Câter	19
2.3.1.2. Emissões evaporativas e durante o reabastecimento	20
2.3.1.3. Emissões pelo tubo de escapamento do veículo	20
2.3.2. <i>Fatores que influenciam as emissões veiculares</i>	20
2.3.2.1. Tipo e composição do combustível	20
2.3.2.2. Características da frota circulante	21
2.3.2.3. Modo de operação do veículo / sistema de tráfego local	21
2.3.2.4. Regulagem e Manutenção	22
2.3.3. <i>Principais gases emitidos pelos veículos e seus efeitos</i>	23
2.3.3.1. Monóxido de Carbono (CO)	23
2.3.3.2. Dióxido de Carbono (CO ₂)	24
2.3.3.3. Hidrocarbonetos (HC)	24
2.3.3.4. Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	24
2.3.3.5. Material Particulado (MP)	25
2.3.3.6. Óxidos de enxofre	25
2.4. TÓPICOS CONCLUSIVOS	26
3. CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR	27
3.1. APRESENTAÇÃO	27
3.2. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	28
3.3. ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR	32
3.4. PADRÕES DE EMISSÃO VEICULAR	35

3.4.1. Padrões de emissão veicular na experiência internacional.....	35
3.4.1.1. Padrões de Emissão da União Européia (UE).....	36
3.4.1.2. Padrões de emissão da Agência Ambiental do Japão (JEA).....	37
3.4.1.3. Padrões de emissão norte-americanos	38
3.4.2. Padrões de emissão veicular no Brasil.....	40
3.4.3. Comparação entre os padrões de emissão veicular.....	47
3.5. VALORES REFERENCIAIS DE EMISSÃO VEICULAR DO BRASIL	48
3.5.1. Metodologia desenvolvida por Vaz de Melo	49
3.5.2. Valores referenciais de emissão de HC, CO, CO ₂ e NO _x obtidos por Filizola (2005)	52
3.5.3. Determinação dos valores referenciais	54
3.6. TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	57
4. ESTADO DA ARTE SOBRE REPRESENTAÇÃO, ANÁLISE E MODELAGEM ESPACIAL DA POLUIÇÃO DO AR, UTILIZANDO OS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	58
4.1. APRESENTAÇÃO	58
4.2. REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DE DADOS DE POLUIÇÃO DO AR NOS SIG	58
4.3. APLICAÇÕES DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA POLUIÇÃO DO AR.....	62
4.3.1. Gerenciamento de dados espaciais.....	63
4.3.2. Sinopse espacial de dados.....	64
4.3.3. Análise Espacial.....	66
4.3.4. Modelagem.....	70
4.4. TÓPICOS CONCLUSIVOS	79
5. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR ESPACIALMENTE OS NÍVEIS DE EMISSÃO DE GASES DERIVADOS DE VEÍCULOS AUTOMOTORES EM ÁREAS URBANAS ..	81
5.1. APRESENTAÇÃO	81
5.2. ETAPAS DA METODOLOGIA.....	82
5.2.1. Etapa I: Delimitação da área de estudo	84
5.2.2. Etapa II: Identificação do fluxo de veículos	84
5.2.2.1. Caracterização da frota de veículos	85
5.2.2.2. Caracterização do tráfego de veículos	90
5.2.3. Etapa III: Levantamento de dados do fluxo de veículos	93
5.2.4. Etapa IV: Montagem do banco de dados geográfico.....	96
5.2.4.1. Elaboração do banco de dados do fluxo de veículos	97
5.2.4.2. Base geográfica	98
5.2.4.3. Base de dados geográficos.....	98
5.2.5. Etapa V: Determinação da emissão veicular.....	99
5.2.5.1. Fluxo de veículos.....	99
5.2.5.2. Fatores de emissão.....	99
5.2.5.3. Cálculo das emissões.....	102
5.2.6. Etapa VI: Representação Espacial dos Níveis de Emissão.....	102
5.2.7. Etapa VII: Identificação dos Níveis Críticos de Emissão	103

5.3. TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	104
6. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ESTUDO DE CASO.....	105
6.1. APRESENTAÇÃO	105
6.2. CARACTERIZAÇÃO DO PLANO PILOTO - DF	105
6.3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA	107
6.3.1. ETAPA I: DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	107
6.3.2. ETAPA II: IDENTIFICAÇÃO DO FLUXO DE VEÍCULOS	108
6.3.2.1. Caracterização da frota veicular nacional	108
6.3.2.2. Caracterização da frota veicular no Distrito Federal.....	110
6.3.3. ETAPA III: LEVANTAMENTO DO BANCO DE DADOS DO FLUXO VEICULAR.....	114
6.3.4. CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS NO PLANO PILOTO.....	117
6.3.4.1. Volume de tráfego de veículos no Plano Piloto.....	117
6.3.5. ETAPA IV: MONTAGEM DO BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO	125
6.3.5.1. Elaboração do banco de dados do fluxo veicular.....	125
6.3.5.2. Base geográfica	126
6.3.5.3. Base de dados geográficos.....	126
6.3.6. ETAPA V: DETERMINAÇÃO DA EMISSÃO VEICULAR	128
6.3.7. ETAPA VI: REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS NÍVEIS DE EMISSÃO	131
6.3.7.1. Níveis de emissão do Monóxido de Carbono (CO)	131
6.3.7.2. Níveis de emissão do óxido de nitrogênio (NOx).....	135
6.3.8. ETAPA VII: IDENTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS CRÍTICOS DE EMISSÃO.....	139
6.4. TÓPICOS CONCLUSIVOS.....	143
7. CONCLUSÕES	144
7.1. APRESENTAÇÃO	144
7.2. LIMITAÇÕES DO ESTUDO	144
7.3. CONCLUSÕES	145
7.4. AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA E SUA APLICABILIDADE	147
7.5. RECOMENDAÇÕES.....	148
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Principais fontes de poluição atmosféricas e principais poluentes.....	13
Tabela 2.2 Efeitos em humanos expostos ao Dióxido de Nitrogênio.....	15
Tabela 2.3 Características e efeitos dos principais poluentes atmosféricos.	16
Tabela 3.1 Padrões de qualidade do ar adotado nos EUA pela EPA.....	29
Tabela 3.2 Níveis máximos recomendados pela OMS.....	30
Tabela 3.3 Padrões Nacionais da Qualidade do Ar.	31
Tabela 3.4 Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Resolução CONAMA nº 03/90).....	32
Tabela 3.5 Escala simplificada dos índices de qualidade do ar.....	33
Tabela 3.6 Estrutura do Índice de Qualidade do ar.	34
Tabela 3.7 Padrões de emissão da União Européia para veículos leves a gasolina.	36
Tabela 3.8 Histórico do controle de emissões veiculares no Japão.....	38
Tabela 3.9 Evolução dos padrões de emissão para veículos leves a gasolina (g/km).	39
Tabela 3.10 Principais legislações a respeito da poluição do ar por veículos automotores.....	40
Tabela 3.11 Limites Máximos de Emissão para Veículos Leves Novos.	42
Tabela 3.12 Limites de emissão para veículos pesados novos.....	43
Tabela 3.13 Limites máximos de emissão para veículos leves comerciais novos.	44
Tabela 3.14 Fatores médios de Emissão de Veículos Leves Novos.....	46
Tabela 3.15 Comparação entre os Padrões de Emissão Veicular.....	47
Tabela 3.16 Valores referenciais de emissão de gases para veículos automotores leves do ciclo Otto.	54
Tabela 3.17 Comparação dos valores referenciais com os padrões de emissão.....	55
Tabela 4.1 Representação espacial nos SIG das fontes de poluição do ar.	60
Tabela 5.1 Limites de velocidade em áreas urbanas segundo o CTB.	93
Tabela 5.2 Atributos da base geográfica	98
Tabela 5.3 Valores referenciais de emissão de gases para veículos leves do ciclo Otto...	100
Tabela 5.4 Criação de cenários de emissão para CO e NO _x	103
Tabela 6.1 Composição da frota por ano de fabricação.	110
Tabela 6.2 Frota de veículos registrada por ano de fabricação (%), segundo o tipo, DF..	112
Tabela 6.3 Tipo de combustível por categoria veicular.....	113
Tabela 6.4 Localização dos radares eletrônicos de avanço de sinal (ASV).	115

Tabela 6.5 Localização dos radares eletrônicos de avanço de sinal (ASV) (continuação).	
.....	116
Tabela 6.6 Localização dos radares fixos (DTR).	116
Tabela 6.7 Classificação por porte veicular nos controladores de estudo.	125
Tabela 6.8 Emissão do CO e NO _x nos pontos de contagem no Plano Piloto.	129
Tabela 6.9 Emissão do CO e NO _x nos pontos de contagem no Plano Piloto.(continuação)	
.....	130
Tabela 6.10 Localização dos pontos com máximas emissões no Plano Piloto.	141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Emissões relativas de poluentes por tipo de fontes na Região Metropolitana de São Paulo em 2005.....	2
Figura 1.2 Aumento das vendas no mercado interno – 1957/2004.....	3
Figura 1.3 Estrutura Metodológica do desenvolvimento da Pesquisa.....	7
Figura 2.1 Fontes de poluentes atmosféricos.....	10
Figura 2.2 O sistema de formação e transformação de poluentes.....	10
Figura 2.3 Pirâmide da saúde relativa à poluição atmosférica.....	17
Figura 3.1 Ciclo de condução urbana utilizado pela NBR 6601.....	41
Figura 3.2 Venturi instalado no escapamento do veículo.....	50
Figura 3.3 Disposição no veículo-teste dos sistemas utilizados.....	51
Figura 4.1 Níveis de integração no SIG.....	63
Figura 4.2 Processo de avaliação ambiental baseado em SIG (<i>overlay</i>).....	68
Figura 4.3 Estrutura SIG para poluição do ar.....	72
Figura 4.4 Diagrama da metodologia.....	74
Figura 4.5 Dados integrados no SIG.....	76
Figura 4.6 Modelagem ambiental e análise de dados utilizando SIG.....	77
Figura 4.7 Diagrama da análise espacial dos dados.....	78
Figura 5.1 Estrutura metodológica.....	83
Figura 5.2 Processo da montagem do banco de dados.....	97
Figura 5.3 Determinação da Emissão Veicular.....	101
Figura 6.1 Mapa do Plano Piloto – DF.....	106
Figura 6.2 Principais vias de estudo do Plano Piloto – DF.....	108
Figura 6.3 Composição por segmento da frota nacional.....	109
Figura 6.4 Composição da frota de automóveis nacionais por combustível.....	109
Figura 6.5 Evolução da frota de veículos registrada no DF.....	111
Figura 6.6 Frota de veículos registrada por tipo do DF - Abril 2004.....	111
Figura 6.7 Frota de veículos registrada por Ano de Fabricação, DF.....	112
Figura 6.8 Frota registrada por tipo de combustível do DF – Abril 2004.....	113
Figura 6.9 Distribuição espacial dos controladores estudados no Plano Piloto - DF.....	114
Figura 6.10 Variação diária do volume de veículos por controlador de velocidade – Plano Piloto.....	119

Figura 6.11 Variação horária do volume de veículos por controlador de velocidade – Plano Piloto.....	121
Figura 6.12 Volume de automóveis por dia por controlador de velocidade no Plano Piloto.....	122
Figura 6.13 Variação horária do volume de automóveis por controlador de velocidade – Plano Piloto.....	123
Figura 6.14 Volume de automóveis por horas pico – Plano Piloto.....	124
Figura 6.15 Consulta à base de dados geográficos.....	127
Figura 6.16 Níveis de emissão do CO (8:00-9:00h).....	132
Figura 6.17 Níveis de emissão do CO (12:00-13:00h).....	133
Figura 6.18 Níveis de emissão do CO (18:00-19:00h).....	134
Figura 6.19 Níveis de emissão do NO _x (8:00-9:00h)	136
Figura 6.20 Níveis de emissão do NO _x (12:00-13:00h).....	137
Figura 6.21 Níveis de emissão do NO _x (18:00-19:00h).....	138
Figura 6.22 Mapa do DF.....	139
Figura 6.23 Localização dos pontos com máximas emissões de CO e NO _x	140

LISTA DE ABREVIATURAS

%vol – base volumétrica

ANFAVEA – Associação Nacional de Fabricantes de Veículos

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CEFTRU – Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes

CEVs – Controladores Eletrônicos de Velocidade

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

DF – Distrito Federal

EPA – Environmental Protection Agency

FENABRAVE – Federação Nacional de Distribuição de Veículos

FTP – Federal Test Proceder

g/km – Grama por quilômetro percorrido

HC – Hidrocarbonetos

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente

km/h – Kilometro por hora

MP – Material Particulado

MP₁₀ – Partículas Inaláveis

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

NBR – Norma Brasileira

PIV – Programa de Inspeção Veicular

ppm – partes por milhão

PQAR – Padrões de Qualidade do Ar

PROCONVE – Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SO_x – Óxido de Enxofre

µm – micro grama

µm / m³ – micro grama por metro cúbico

WHO – Organização Mundial da Saúde

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

A poluição do ar derivada do tráfego de veículos é um dos mais graves problemas da degradação da qualidade do ar e no gerenciamento das áreas urbanas. De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (1997), os veículos automotores causam mais poluição do ar do que qualquer atividade humana. Essas emissões veiculares carregam diversas substâncias tóxicas que, em grandes concentrações, causam danos à saúde da população e ao meio ambiente. Os efeitos nocivos da poluição veicular são percebidos pela população por meio de doenças cardio-respiratórias e alérgicas, desenvolvimento de câncer e acréscimo das taxas de morbidade e mortalidade nas áreas urbanas (Saldiva *et al.*, 1995; Branco e Walsh, 2005).

As emissões veiculares são produzidas pelo processo de combustão e queima incompleta do combustível, sendo compostas por gases como: óxidos de carbono (CO e CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos não queimados (HC), óxidos de enxofre (SO_x), partículas inaláveis (MP₁₀), etc., os quais são diariamente emitidos à atmosfera (CETESB, 2006).

Observa-se, na Figura 1.1, as estimativas do CETESB (2006) mostrando que na Região Metropolitana de São Paulo os veículos são responsáveis por 97% das emissões de CO, 97% de HC, 96% NO_x, 40% de MP₁₀ e 42% de SO_x, como resultado do aumento da frota de aproximadamente 7,4 milhões de veículos. Esta frota representa 1/5 do total nacional, o que indica que os veículos produzem mais poluição atmosférica que qualquer outra atividade humana.

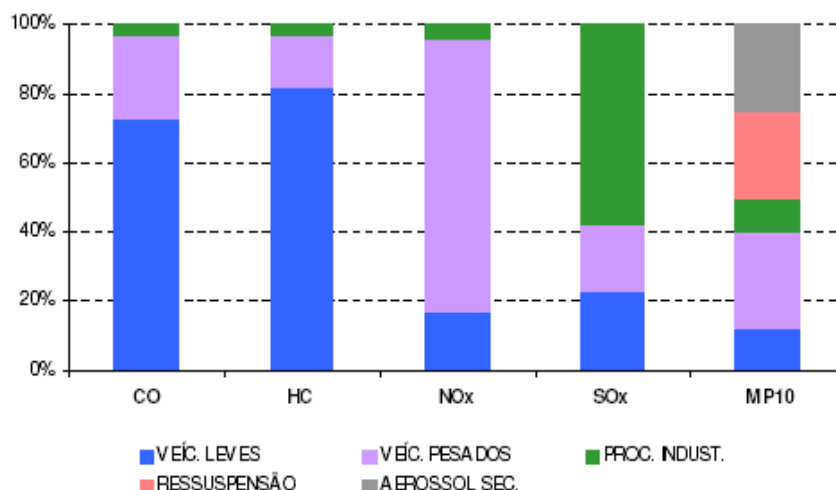


Figura 1.1 Emissões relativas de poluentes por tipo de fontes na Região Metropolitana de São Paulo em 2005.

Fonte: CETESB (2006)

Nos grandes centros urbanos do Brasil, tem se intensificado o aumento da motorização individual. Além de causar congestionamentos constantes, apresentam, a cada dia, problemas de transporte e qualidade de vida nas áreas urbanas (poluição sonora e do ar). Segundo o DENATRAN (2005), a frota veicular, em 1990, foi estimada em 18,2 milhões de veículos registrados e, em 2003, foi estimada em 36,6 milhões. A frota veicular cresceu mais de 100% num período de 13 anos, o que indica tendência de duplicação da frota a cada década.

Como observado na Figura 1.2, que mostra a venda de veículos no mercado interno no Brasil, verifica-se o aumento do número de veículos circulando nas vias. Entende-se a importância desse acréscimo nos impactos ambientais gerados às cidades, pois, a poluição do ar nos centros urbanos e a quantidade de veículos em circulação são diretamente proporcionais (CETESB, 2004).

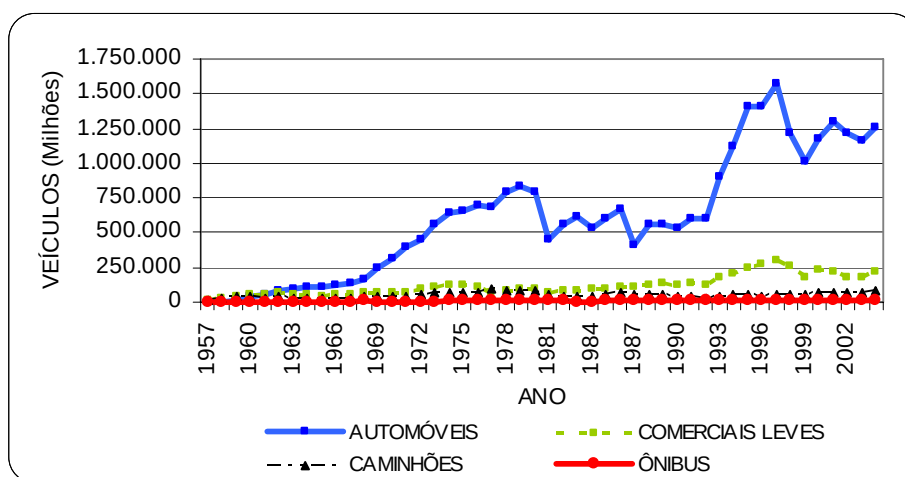


Figura 1.2 Aumento das vendas no mercado interno – 1957/2004.

Fonte: ANFAVEA (2006)

Nesse contexto, é necessário identificar o quanto os veículos estão poluindo. Esta pesquisa visa desenvolver uma metodologia para identificar o nível de emissão de gases derivados dos veículos automotores nas áreas urbanas utilizando valores referenciais de emissão veicular no Brasil.

1.2. JUSTIFICATIVA

Nos centros urbanos, o transporte é uma das causas da deterioração da qualidade do ar devido ao aumento do número de veículos, os quais se tornaram responsáveis pelo aumento da emissão de poluentes na atmosfera e por afetar a saúde da população.

No Brasil, existem medidas para controle de emissões veiculares como o Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE), instituído em 1986, e o Programa de Inspeção Veicular (PIV), em processo de implantação pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN). Pela falta de vistoria nos veículos, em função da não implementação do PIV, as condições das emissões veiculares são diversas devido à elevada idade da frota nacional. Embora se tenham órgãos reguladores e programas de controle de emissões, estes não possuem estudos da frota circulante brasileira para avaliar o nível de poluentes permitidos por diferentes categorias de veículos e, assim, determinar os níveis de emissão veicular.

O controle das emissões por meio de estações de monitoramento precisa de instrumentação, o que eleva seu custo, dificultando sua ampla utilização. Além dos custos da sua implantação, nem sempre sua localização coincide com as áreas de máxima emissão de poluentes. Ainda que existam métodos e equipamentos para a realização de ensaios e medições de poluentes, e técnicas de simulação para quantificar as emissões veiculares, como apresentado por Cybis (2002), tais técnicas nem sempre são de fácil utilização. Além disso, o uso de simuladores envolve a aceitação de coeficientes, que muitos não correspondem à realidade simulada por serem trazidos do exterior com uma outra realidade.

Dessa forma, verifica-se a necessidade de obter referências de níveis de emissão em diversos cenários na tentativa de representar as realidades do país. Para isto, Vaz de Melo (2004) e Filizola (2005), procurando o desenvolvimento tecnológico nacional, desenvolveram equipamentos, metodologias e valores referenciais de emissão de gases de veículos automotores leves de ciclo Otto (movidos a gasolina), com o apoio do Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes (CEFTRU).

A pesquisa de Vaz de Melo (2004) definiu metodologia e instrumentação para determinar o nível de emissão de poluentes, de veículos automotores leves, expresso em gramas de poluente emitidas por quilômetro percorrido (g/km) nas condições reais de operação. Filizola (2005) definiu valores referenciais de emissão de gases CO, HC, CO₂ e NO_x utilizando a metodologia de Vaz de Melo (2004), considerando o ciclo de condução, via, modo de condução do veículo e catalisador. Os valores referenciais de emissão de gases de veículos automotores leves do ciclo Otto (obtidos para CO, HC, CO₂ e NO_x) mostraram que as emissões reais encontram-se na mesma escala de grandeza dos limites estabelecidos pelo PROCONVE, sendo possível sua aplicação como padrões de emissão nacional.

Perante esse panorama, o presente estudo pretende dar continuidade a essa linha de pesquisa, utilizando esses valores com proposta de identificar espacialmente os níveis de emissão de gases emitidos por veículos automotores baseados em padrões nacionais. Uma representação espacial dos níveis de emissão de gases dos veículos automotores, circulantes nas vias urbanas, foi obtida e a análise espacial permitiu verificar os locais críticos de máxima emissão.

Acredita-se que a metodologia proposta possa contribuir para o controle da poluição do ar identificando locais críticos e permitindo, aos planejadores, atuar no desenho, implementação e gerenciamento de estratégias de controle do tráfego de veículos nas áreas urbanas a fim de melhorar a qualidade de vida da população.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver uma metodologia para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores nas áreas urbanas por meio dos fluxos veiculares nas vias e valores referenciais de emissão veicular do Brasil.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar espacialmente os máximos níveis de CO e NO_x emitidos por veículos automotores no Plano Piloto de Brasília – DF;
- Gerar mapas de níveis de emissão dos gases derivados de veículos automotores, utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG).

1.4. HIPÓTESE

Os níveis de emissão de gases derivados dos veículos automotores podem ser identificados por meio da representação espacial dos mesmos, obtidos do fluxo de tráfego de veículos utilizando valores referenciais de emissão veicular do Brasil.

1.5. METODOLOGIA

O método de abordagem adotado nesta pesquisa será o hipotético-dedutivo. Visando atender aos objetivos propostos e comprovar a hipótese descrita anteriormente, foram delimitadas quatro fases metodológicas, apresentadas no fluxograma da Figura 1.3 e detalhada a seguir:

1ª Fase - Revisão Bibliográfica: nesta fase, foram adquiridos os conhecimentos sobre o tema em pesquisa com o intuito de adquirir a base teórica para o desenvolvimento e execução da pesquisa. São abordados conceitos como: o transporte urbano e meio ambiente, poluição do ar, emissões veiculares, tipos de emissões, formação dos principais gases veiculares, os principais fatores que influenciam na formação desses gases, padrões de emissão e metodologias desenvolvidas aplicadas à representação das emissões veiculares.

2ª Fase - Definição da Metodologia: nesta fase, foi desenvolvida a metodologia para obtenção dos níveis de emissão dos gases nas seguintes etapas:

- ETAPA I – Delimitação da área de estudo;
- ETAPA II – Identificação do fluxo de veículos;
- ETAPA III – Levantamento dos dados do fluxo de veículos;
- ETAPA IV – Montagem do banco de dados;
- ETAPA V – Determinação da emissão veicular;
- ETAPA VI – Representação espacial dos níveis de emissão veicular;
- ETAPA VII – Identificação dos níveis críticos de emissão dos gases nas vias.

As etapas da metodologia desenvolvida são detalhadas no capítulo 5.

3ª Fase – Aplicação da Metodologia: nesta fase, a metodologia será avaliada por meio da sua aplicação no estudo de caso no Plano Piloto de Brasília – DF.

4ª Fase – Análise de Resultados e Conclusões: obtida a metodologia e sua respectiva aplicação, são identificados os níveis críticos de emissão de CO e NO_x derivados de veículos automotores nas áreas urbanas na cidade de Brasília.

As informações geradas possibilitaram identificar a localização de áreas de maior concentração de emissões veiculares e determinar áreas de risco, sendo elementos fundamentais no planejamento dos transportes e no controle da poluição do ar em áreas urbanas.

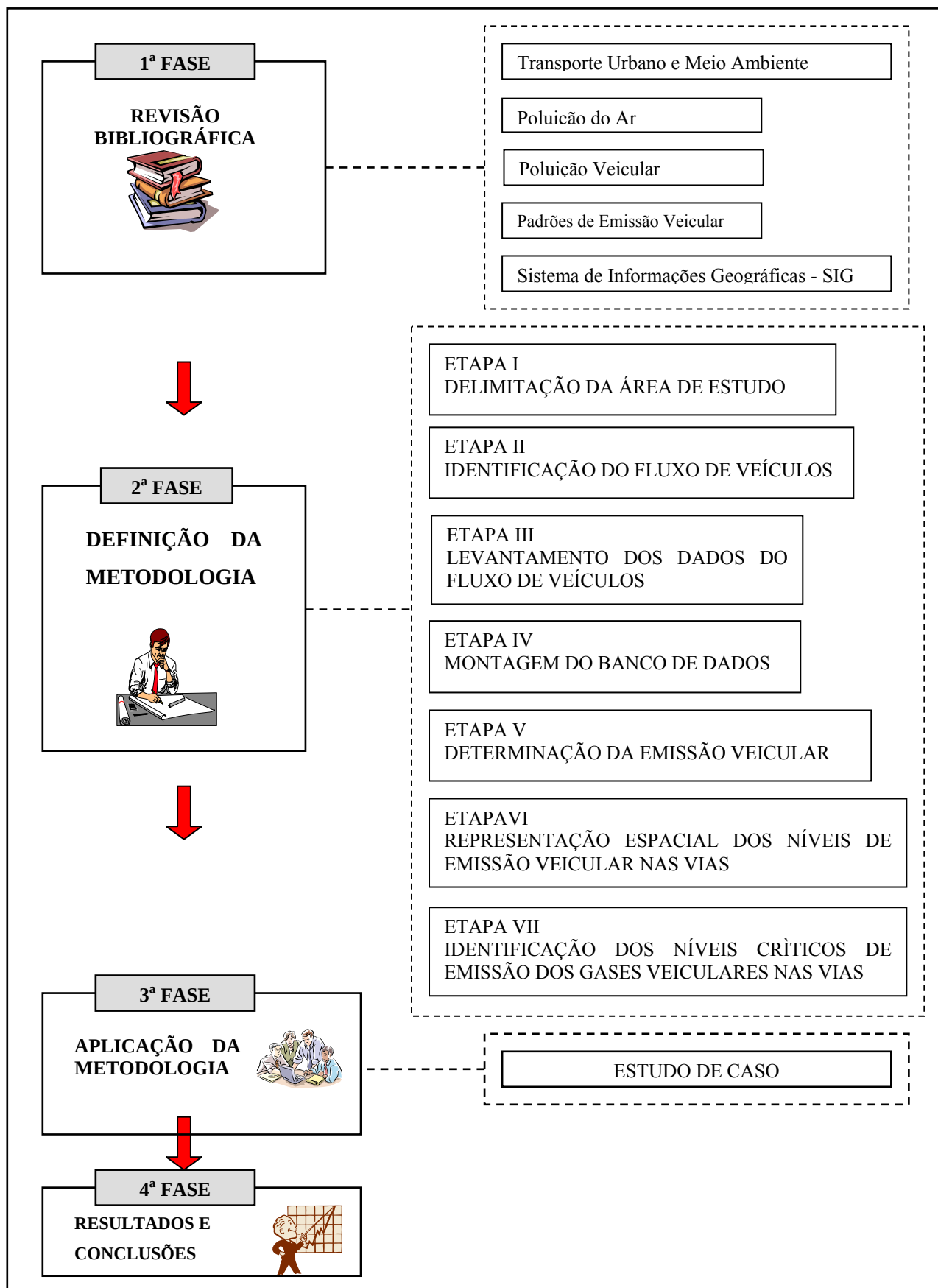


Figura 1.3 Estrutura Metodológica do desenvolvimento da Pesquisa.

2. TRANSPORTES E MEIO AMBIENTE

2.1. APRESENTAÇÃO

Nas últimas décadas, a poluição atmosférica tem sido tema freqüente em debates que discutem a relação entre a sociedade e a qualidade de vida. Diversas pesquisas caracterizam a poluição do ar como sendo um fator de suma importância na busca da preservação do meio ambiente e na implementação de um desenvolvimento sustentável, sendo de amplo conhecimento que a poluição afeta, de diversas formas, a saúde humana, os ecossistemas e os ambientes construídos.

Atualmente, os grandes centros urbanos, como, por exemplo, México, São Paulo, Rio de Janeiro, Santiago do Chile, enfrentam o problema dos congestionamentos devido ao aumento do número de veículos. Como decorrência, ocorre o aumento do volume total das emissões, tanto por suas próprias emissões quanto pelo aumento do congestionamento do tráfego, levando os demais veículos a emitir mais poluentes por quilômetro percorrido, contribuindo para o aumento da poluição do ar. Além disso, causam outros problemas como o aumento de poluição atmosférica, a perda de tempo, de produtividade, estresse e aumento de consumo de combustíveis.

Nesse contexto, o presente capítulo tem como objetivo apresentar uma visão geral do tema *Poluição do Ar*, abordando seu conceito, seu processo, as fontes poluidoras, os poluentes atmosféricos e os seus efeitos. Com isso, procura-se compreender a importância das emissões veiculares na contribuição da poluição do ar e os efeitos negativos provocados à saúde da população.

2.2. POLUIÇÃO DO AR

No Brasil, a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, trata da Política Nacional de Meio Ambiente e define a poluição como “a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem

desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.

A poluição atmosférica é definida pelo Departamento Nacional de Trânsito como “uma mudança indesejável, e muitas vezes irreversível, nas características físicas, químicas ou biológicas do ar atmosférico, que podem afetar perniciosamente o equilíbrio do sistema ecológico com interferência na vida do homem, animais e vegetais; deterioração dos bens culturais de lazer; inutilização ou depreciação dos recursos naturais” (DENATRAN, 1980).

De acordo com Almeida (1999), o conceito de poluição atmosférica inclui uma série de atividades, fenômenos e substâncias que contribuem para a deterioração da qualidade natural da atmosfera, sendo considerados os poluentes atmosféricos como substâncias os quais geram esse efeito negativo ao meio ambiente.

Assunção (1998) aborda a poluição atmosférica como um fenômeno originado principalmente da atividade humana em vários aspectos, dentre os quais destacam-se o rápido crescimento populacional, industrial e econômico; a concentração populacional e industrial; os hábitos da população e o grau de controle, ou seja, as medidas adotadas para o controle da poluição atmosférica.

Como visto, o homem tem uma participação fundamental seja na contribuição da poluição do ar, seja no controle da mesma, o que torna necessário compreender a origem desse processo de poluição.

2.2.1. O processo da poluição do ar

A atmosfera pode ser considerada o local onde ocorrem reações químicas permanentemente. Assim, a poluição atmosférica é um fenômeno que abrange três fases importantes: emissão, dispersão e concentração. Para Azuaga (2000), o processo de poluição atmosférica inicia-se com a emissão de poluentes por fontes naturais ou antropogênicas. Emitido o poluente na atmosfera, o processo da poluição atmosférica tem continuidade com a dispersão, por meio do transporte dos poluentes pelas massas de ar (poluentes primários), para um receptor, como se observa na Figura 2.1.

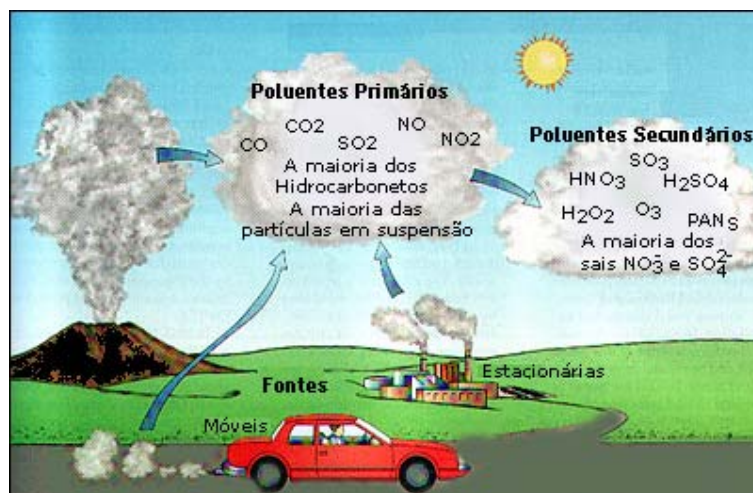


Figura 2.1 Fontes de poluentes atmosféricos.
Fonte: Miller (2000)

Durante esse transporte (Figura 2.1), a combinação de dois ou mais poluentes pode provocar reações químicas, formando os poluentes secundários como o *smog* fotoquímico, originado pela inversão térmica (FEEMA, 2002). A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera definirá o nível de qualidade do ar, que determinará, por sua vez, o surgimento de efeitos adversos da poluição atmosférica sobre os receptores (ser humano, animais, plantas e os ambientes construídos).

Segundo Derísio (2000), quando se determina a concentração de um poluente na atmosfera, está sendo medido o grau de exposição dos receptores como resultado final do processo de lançamento deste poluente e suas interações na atmosfera. Este processo de formação e transformação dos poluentes do ponto de vista físico (diluição) e químico (reações químicas) é esquematizado na Figura 2.2.



Figura 2.2 O sistema de formação e transformação de poluentes.
Fonte: Derísio (2000).

Nos grandes centros urbanos, a emissão de poluentes, ao longo dos anos, vem ocasionando uma degradação da qualidade do ar. As emissões de poluentes, por meio de diferentes

formas de dispersão, aumentaram a concentração desses poluentes na atmosfera. Após serem lançados no ar, os poluentes são transportados pelas massas de ar e, dependendo das condições de dispersão, passam a ter uma participação na composição atmosférica de uma região.

Na atmosfera, a poluição se forma do desequilíbrio entre a emissão e a dispersão dos poluentes. Segundo Martins (1999), a poluição está expressa por fatores de intensidade, continuidade e efetividade. A intensidade é a quantidade de poluente em uma amostra de ar de uma região; a continuidade é o tempo de permanência desses poluentes na composição do ar e; a efetividade é o efeito negativo dos poluentes sobre o meio ambiente. Pode-se deduzir que a percepção da poluição é a resultante da combinação entre emissão e dispersão de poluentes, ou seja, da concentração de poluentes na atmosfera.

A dispersão dos poluentes é influenciada por diversos fatores, tais como a topografia e as condições meteorológicas. As mais importantes são: a direção e velocidade dos ventos, as chuvas atuando com muita eficiência na remoção dos poluentes do ar, o grau de estabilidade atmosférica (velocidade do vento e a variação da temperatura com a altitude), a qual determina a capacidade do poluente de expandir-se verticalmente.

O processo de dispersão, por sua vez, é influenciado também por características do ambiente construído. Dentre as quais, têm-se: tipos de construção e obstáculos que margeiam as vias (*layout*, rugosidade e porosidade da superfície), distância da fonte de emissão ao receptor, porosidade das edificações e rugosidade das superfícies e propriedades físicas e químicas dos poluentes (Martins, 1998).

Deste modo, a concentração de poluentes na atmosfera é intimamente determinada pelas condições de dispersão atmosférica e pelas condições de emissão artificial. A concentração do ar, conhecida como nível de poluição do ar ou qualidade do ar, é medida pela quantificação das substâncias poluidoras presentes no ar. Quando este nível de concentração é determinado, obtém-se o grau de exposição dos receptores como resultado final do processo de lançamento do poluente na atmosfera.

2.2.2. Fontes da poluição atmosférica

No processo da poluição atmosférica, é importante considerar os processos envolvidos na formação de poluentes, pois um poluente pode ter diversas origens. As origens, denominadas também como fontes de poluição atmosférica, são entendidas como qualquer processo natural ou antropogênico que possa liberar ou emitir matéria ou energia para a atmosfera, tornando-a contaminada ou poluída (Almeida, 1999).

As fontes naturais estão associadas aos processos naturais de emissão, como a emissão de gases provocada por erupções vulcânicas, o arraste eólico, as atividades de *geysers*, os incêndios naturais em florestas, entre outros. As fontes antropogênicas são consideradas de acordo com o tipo de agente emissor, podendo ser fontes estacionárias ou móveis.

As fontes fixas ou estacionárias estão representadas por dois grandes grupos. O primeiro grupo é composto pelas atividades pouco representativas nas áreas urbanas (por exemplo, queimas de resíduos, lavanderias e queima de combustíveis em padarias, hotéis, hospitais e outras atividades consideradas usualmente como fontes de poluição não industriais). O segundo grupo é composto pelas atividades individualmente significativas, tendo em vista a variedade ou intensidade de poluentes emitidos (plantas de geração e setor industrial).

As fontes móveis são compostas pelos meios de transporte aéreo, marítimo e terrestre, em especial os veículos automotores que, pelo número e distribuição espacial, passam a se constituir como fontes de destaque nas áreas urbanas. De acordo com Lora (2000), as emissões antropogênicas ocorrem de forma concentrada nos núcleos populacionais. Entretanto, em alguns casos, são menores que os ocasionados pelos fenômenos naturais.

2.2.3. Principais poluentes atmosféricos

Define-se poluente atmosférico como qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa e de energia que, presente na atmosfera, pode torná-la poluída (Assunção, 1998). O poluente pode ser classificado em função de seu estado físico (material particulado, gases e vapores). Quanto a sua origem, os poluentes podem ser classificados como primários, emitidos diretamente na atmosfera já na forma de poluentes e poluentes secundários, que são formados na atmosfera a partir de reações químicas ou mesmo fotoquímicas entre dois

ou mais poluentes. E de acordo com a classe química a que pertencem, os poluentes podem ser classificados como orgânicos ou inorgânicos.

As substâncias usualmente consideradas poluentes do ar podem ser classificadas da seguinte forma:

- Compostos de Enxofre (SO₂, SO₃, H₂S, Sulfatos);
- Compostos de Nitrogênio (NO, NO₂, NH₃, HNO₃, Nitratos);
- Compostos Orgânicos de Carbono (Hidrocarbonetos (HC ou HC's), Álcoois, Aldeídos, Cetonas, Ácidos Orgânicos);
- Monóxido de Carbono (CO) e Dióxido de Carbono (CO₂);
- Compostos Alucinados (HCl, HF, Cloretos, Fluoretos);
- Material particulado – MP (mistura de compostos no estado sólido ou líquido).

Tabela 2.1 Principais fontes de poluição atmosféricas e principais poluentes.

	Fonte	POLUENTES
Fontes Estacionárias	Combustão	Material particulado, dióxido de enxofre e trióxido de enxofre, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.
	Processo industrial	Material particulado (fumos, poeiras, névoas), gases: SO ₂ , SO ₃ , HCL, Hidrocarbonetos, HF, H ₂ S, NO _x , mercaptanas.
	Queima de resíduo sólido	Material particulado
	Outros	Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCL, NO _x Hidrocarbonetos, material particulado.
Fontes Móveis	Veículos gasolina/álcool/diesel, aviões, motocicletas, barcos, locomotivas, etc.	Material particulado, dióxido de enxofre e óxido de enxofre, monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, aldeídos e ácidos orgânicos.
Fontes Naturais	Atividades vulcânicas, queimadas florestais, etc.	Material particulado: poeiras Gases: SO ₂ , H ₂ S, CO, HCL, NO, NO ₂ Hidrocarbonetos
Reações Químicas na Atmosfera	Ex: HC + NO _x (luz solar)	Poluentes secundários: O ₃ , aldeídos, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos, aerossol fotoquímico, etc.

Fonte: CETESB (1998)

Conforme pode ser verificado na Tabela 2.1, um grande número de poluentes é lançado na atmosfera devido às diversas fontes de poluição existentes na Terra. Dessa mesma forma, novos poluentes são produzidos como resultado de reações químicas na atmosfera. Embora a atmosfera esteja contaminada por diversos poluentes, um pequeno número desses

poluentes tem sido identificado como tendo alcançado um nível de toxicidade suficientemente significativo a ponto de ameaçar a saúde e o bem-estar do ser humano.

2.2.4. Efeitos dos poluentes atmosféricos

Os efeitos da poluição do ar, de modo geral, podem se manifestar na saúde, no bem-estar da população, na vegetação e na fauna, sobre os materiais. Esses efeitos podem ser globais ou podem ocorrer em níveis local e regional. Os efeitos da poluição atmosférica em escala global são caracterizados pela alteração de acidez das águas da chuva (chuva ácida), pelo aumento de temperatura do planeta (efeito estufa) e pela modificação de intensidade da radiação solar, ou seja, aumento da radiação ultravioleta, causado pela redução da camada de ozônio. Em regiões urbanas com alta poluição atmosférica, é comum verificar redução da visibilidade, formação de névoa e precipitação, redução da intensidade de radiação solar e alteração da distribuição das temperaturas e do vento (Lora, 2000).

Dos efeitos dos poluentes atmosféricos, ressaltam-se os efeitos negativos à saúde humana, que vão desde o desconforto até a morte. Estudos têm mostrado que a poluição atmosférica causa irritação dos olhos e das vias respiratórias, redução da capacidade pulmonar, aumento da suscetibilidade a infecções virais e doenças cardiovasculares; redução da *performance* física; dores de cabeça, alterações motoras e enzimáticas; agravamento de doenças crônicas do aparelho respiratório tais como, asma, bronquite, enfisema e pneumoconioses; danos ao sistema nervoso central; alterações genéticas; nascimento de crianças defeituosas e com câncer (Saldiva *et al.*, 1995).

Os efeitos são sentidos principalmente por crianças e idosos, podendo variar em função do tempo de exposição e das suas concentrações, sendo os mais afetados aqueles indivíduos com enfermidades respiratórias. Na Tabela 2.2, é apresentado, como exemplo, os sintomas e efeitos relacionados à exposição a Dióxido de Nitrogênio observados em humanos, de acordo com estudo realizado pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 1999), o qual mostra a concentração do poluente, o tempo de exposição e os efeitos no ser humano.

Tabela 2.2 Efeitos em humanos expostos ao Dióxido de Nitrogênio.

CONCENTRAÇÃO DE NO ₂ (µg/m ³)	TEMPO DE EXPOSIÇÃO	EFEITOS EM HUMANOS EXPOSTOS A DIÓXIDO DE NITROGÊNIO
3.000 – 9.400 (1,6 ~ 5 ppm)	10 – 15 minutos	Alterações na função pulmonar de cobaias normais e com bronquite.
4.700 (2,5 ppm)	< 2 horas	Decréscimos na função pulmonar de indivíduos saudáveis em repouso ou fazendo exercícios leves.
> 3.760 (2 ppm)		Ocorrem substanciais alterações na função pulmonar de indivíduos saudáveis.
< 3.760 (2 ppm)		Indivíduos saudáveis expostos a concentrações de NO ₂ , abaixo da concentração indicada, podem apresentar resultados negativos ou positivos. Indivíduos com bronquite não demonstram ser mais sensíveis que aqueles considerados saudáveis. Contudo, indivíduos asmáticos parecem ser mais sensíveis.
2.820 (1,5 ppm)	5 minutos	Indivíduos com bronquite têm a função pulmonar afetada.
1.300 (0,7 ppm)	10 minutos	A função pulmonar é afetada.
190 ~ 7.520 (0,1 ~ 4,0ppm)	Diversos (3 minutos - 14 horas)	Estudos apresentam resultados conflitantes no que concerne a efeitos respiratórios em indivíduos asmáticos e saudáveis.
560 (0,3 ppm)	30 minutos	Sob essa exposição tem-se o mais baixo nível observado que afeta a função pulmonar de asmáticos.
200 ~ 410 (0,11 ~ 0,22 ppm)		Efeitos sensoriais; mal cheiro sufocante.
190 (0,1 ppm)	1 hora	Pode provocar elevação da reação a bronco-constrictores farmacológicos em asmáticos.
190 (0,1 ppm)	1 hora	A função pulmonar de asmáticos não é significativamente alterada.

Fonte: WHO – Organização Mundial da Saúde (1999)

As características, as principais fontes e os efeitos dos principais poluentes atmosféricos na saúde e no meio ambiente têm sido preocupação permanente dos pesquisadores. Na Tabela 2.3, é apresentada uma síntese elaborada pela CETESB (2006) que possibilita identificar a relação entre as características e os efeitos dos principais poluentes atmosféricos.

Tabela 2.3 Características e efeitos dos principais poluentes atmosféricos.

POLUENTE	CARACTERÍSTICAS	FONTES PRINCIPAIS	EFEITOS GERAIS SOBRE A SAÚDE	EFEITOS GERAIS AO MEIO AMBIENTE
Partículas Totais Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 100 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua suspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.	Quanto menor o tamanho da partícula, maior o efeito à saúde. Causam efeitos significativos em pessoas com doença pulmonar, asma e bronquite.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Inaláveis (MP10) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Enxofre (SO₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, polpa e papel.	Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO ₂ .	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar a formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Aumento de sensibilidade à asma e à bronquite, abaixar a resistência às infecções respiratórias.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	Altos níveis de CO estão associados a prejuízo dos reflexos, da capacidade de estimar intervalos de tempo, no aprendizado, de trabalho e visual.	
Ozônio (O₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais é o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente à atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Irritação nos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar. Exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração. O O ₃ tem sido associado ao aumento de admissões hospitalares.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: CETESB (2006)

Em se tratando de relacionar saúde com poluição do ar, a *Health Canadá* (2003) desenvolveu uma pirâmide de saúde relativa à poluição do ar (Figura 2.3) em que se relaciona a gravidade do efeito *versus* a proporção de população afetada. Observa-se que problemas mais graves para a saúde humana atingem uma menor proporção da população, ocasionando a redução do desempenho físico, consultas médicas, atendimentos nas salas de emergência, admissões hospitalares e, até, a morte. Já problemas sutis, como a falta de ar, sintomas de pulmão debilitado e utilização de remédios por apresentar respiração dolorosa podem afetar uma maior proporção da população.



Figura 2.3 Pirâmide da saúde relativa à poluição atmosférica.

Fonte: Health Canadá (2003)

Quanto aos efeitos nos materiais, destacam-se a abrasão, a deposição e a remoção, o ataque químico direto e indireto e a corrosão eletroquímica, enfraquecimento e decomposição de materiais de construção. Visivelmente, pode se observar a deposição de partículas, principalmente a fumaça e poeira, nas edificações e monumentos, especialmente aquelas próximas às vias (Almeida, 1999).

Conforme apresentado nos itens anteriores, as fontes móveis, dentre as quais se destacam os veículos automotores, são os principais responsáveis pela poluição do ar.

2.3. POLUIÇÃO VEICULAR

Conforme CETESB (2006), a poluição do ar, como mencionado na seção anterior, provoca efeitos negativos à saúde e ao bem estar da população. A rápida e contínua urbanização das cidades, associada à necessidade de sistemas adequados de transporte público e ao aumento de motorização individual, tem originado congestionamentos de tráfego e poluição por veículos automotores nos centros urbanos. Deste modo, o transporte pode ser considerado o maior responsável pela contaminação atmosférica gerada pela emissão de gases tóxicos dos veículos automotores no meio ambiente.

Os veículos automotores, que constituem as fontes móveis de poluição do ar, podem ser divididos em veículos leves, os quais usam gasolina e álcool como combustível, e veículos pesados, que utilizam o óleo diesel. Tanto os veículos a diesel, como aqueles movidos a gasolina ou álcool, produzem gases, vapores e material particulado. A diferença reside na quantidade que cada um deles emite para a atmosfera (Derisio, 2000).

Estudos realizados pela CETESB (2004) afirmam que os veículos automotores são as principais fontes de emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos totais e óxidos de nitrogênio. Para os óxidos de enxofre, além dos veículos, as indústrias são as principais fontes.

2.3.1. Tipos de emissão veicular

O complexo sistema de fontes móveis influencia na qualidade do ar urbano. A maioria dos poluentes lançados na atmosfera é proveniente do processo de combustão dos veículos. Os ônibus e caminhões são responsáveis pela emissão de óxidos de nitrogênio e de enxofre, enquanto que os veículos leves (automotores de passeio e de uso misto) movidos a gasolina e a álcool são os principais emissores de monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

De acordo com o DENATRAN (1980), os veículos automotivos utilizam motores de combustão interna, podendo ser classificados em duas categorias:

- **Motores de ignição por faísca (ciclo Otto)**, onde uma centelha inicia o processo de combustão, utilizam como combustível gasolina, álcool e gás natural veicular – GNV.
- **Motores de combustão espontânea (ciclo Diesel)**, nos quais a combustão é gerada por meio da compressão do ar, aquecendo-o para a injeção do combustível líquido. Utilizam como combustível o óleo diesel.

Estes motores apresentam diferenças quanto ao funcionamento, à robustez, às relações de compressão de ambos, ao sistema de introdução de combustível e à ignição. Nos veículos movidos a gasolina (ciclo Otto), as emissões se dividem entre o escapamento, o cárter, o carburador (quando for o caso) e o tanque de combustível. Nos veículos movidos a diesel, as emissões se concentram no escapamento, com predominância de material particulado orgânico sob a forma de fumaça.

Uma outra forma de classificação é apresentada pela CETESB (2004), que divide as emissões de poluentes originadas pelo uso de veículos automotores nas seguintes categorias:

- emissões de gases e partículas pelo escapamento do veículo, subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento;
- emissões evaporativas de combustível, lançadas na atmosfera por meio de evaporação de hidrocarbonetos do combustível;
- emissões de gases do cárter do motor, subprodutos da combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante;
- emissões de partículas provenientes do desgaste de pneus, freios e embreagem; ressuspensão de partículas de poeira do solo e;
- emissões evaporativas de combustível nas operações de transferência de combustível, associadas ao armazenamento e abastecimento de combustível.

2.3.1.1. Emissões de Gases do Cárter

As emissões de gases do cárter são compostas de gases de combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante (Balassiano, 1991). Nos motores atuais, esses gases são canalizados ao coletor de admissão do motor para serem

queimados. Os hidrocarbonetos (HC's), nas suas distintas configurações, são os elementos poluentes que aparecem em maior proporção nas emissões do cárter.

2.3.1.2. Emissões evaporativas e durante o reabastecimento

As emissões evaporativas, segundo Gomes *et al* (1994), se caracterizam por perdas pela evaporação de hidrocarbonetos do combustível, principalmente a temperaturas elevadas, geradas principalmente quando o carro não está em movimento. As perdas evaporativas com o carro em movimento (*running losses*) são geralmente desprezadas. Essas emissões são provenientes do tanque de combustível, do carburador (quando for o caso), por meio de vazamentos e percolações nas conexões e mangueiras.

2.3.1.3. Emissões pelo tubo de escapamento do veículo

As emissões de escapamento são os subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento (Balassiano, 1991). Os produtos da combustão completa são CO₂, H₂O e N₂; da combustão incompleta são CO, HC, aldeídos (R-CHO) e NO_x, e, ainda, têm os produtos indesejáveis como material particulado e SO_x (mais expressivos em motores de ciclo Diesel). A formação de SO_x deve-se ao conteúdo de enxofre presente nos combustíveis.

2.3.2. Fatores que influenciam as emissões veiculares

De acordo com a literatura, as emissões veiculares variam em função de diversos fatores os quais influenciam a quantidade e a composição das emissões provenientes dos veículos. Além das características do veículo (tipo do motor, estado de conservação e idade do veículo, regulagem e manutenção do veículo), existem características que afetam as emissões, tais como as do combustível utilizado, da frota circulante, modo de operação do veículo, do tráfego e as climáticas.

2.3.2.1. Tipo e composição do combustível

Experiências mostram que uma localidade que possua um maior contingente de ônibus e caminhões em circulação, utilizando basicamente diesel como combustível, apresentará um

índice de emissão de partículas em suspensão (fuligem) mais elevado do que se possuísse uma frota composta por veículos movidos a gasolina e/ou álcool (Azuaga, 2000). Contudo, esses últimos provocam altas taxas de emissão de CO.

Observa-se que o tipo de combustível utilizado define a qualidade da queima da mistura ar-combustível dentro do motor, influenciando na formação dos poluentes emitidos na localidade. A quantidade de enxofre contida no óleo diesel influencia diretamente a emissão de compostos de enxofre. Como estes são produtos corrosivos, interferem na durabilidade dos motores. Portanto, é fundamental para fabricantes e consumidores a redução do teor de enxofre.

Em relação às emissões, o monóxido de carbono é mais sensível ao modo de operação e à relação ar/combustível carburada. A emissão de HC depende mais estreitamente da qualidade do combustível e do grau de oxidação incompleta. A injeção eletrônica de combustível, que vem alterando a tecnologia de alimentação, evita seu desperdício, diminuindo o grau de emissão.

2.3.2.2. Características da frota circulante

As características da frota circulante, como o tamanho, peso, potência, número de carburadores, idade, tipo de injeção de combustível, presença ou não de catalisadores, tipo de motor, interferem na quantidade emitida de poluentes, decorrente de um maior consumo de combustível. Para cada modelo de automóvel, é associado um diferente fator de emissão (Azuaga, 2000). Os veículos novos são menos poluidores devido à busca de soluções tecnológicas pelas indústrias automobilísticas. Com o uso, o desgaste de peças e componentes afeta as características de eficiência do motor, provocando índices mais elevados de emissão.

2.3.2.3. Modo de operação do veículo / sistema de tráfego local

A emissão de poluentes gasosos é estreitamente dependente das condições de tráfego, cujas características podem variar consideravelmente de uma área para outra. Controle nas interseções, números de faixas de rolamento, tempos de semáforo, facilidades para

estacionamento e permissividade de conversões são fatores relacionados ao sistema de tráfego local com consequências indiretas na emissão veicular.

O modo de operação, em geral, incorpora também algumas das variáveis características do sistema de tráfego local. No entanto, outras variáveis não consideradas anteriormente, como o desempenho, a velocidade, o comportamento e o estilo de dirigir de cada motorista, podem provocar sensíveis diferenças tanto no consumo de combustível quanto na emissão de poluentes. No regime de marcha lenta, o motor opera com uma mistura rica em combustível, ou seja, um excesso de combustível para a quantidade de ar aspirada pelo motor, comprometendo a eficiência da combustão. Por conseguinte, altas taxas de emissão de poluentes, elevação do consumo de combustíveis e dos tempos de viagem serão prejudiciais ao bom funcionamento do motor.

O excesso de carga no veículo também deve ser evitado. Sabe-se que uma sobrecarga de peso pode aumentar o consumo de combustível, além de possibilitar danos ao motor, aumenta a emissão de fumaça preta. Este fato confirma a premissa de que as condições de congestionamento de tráfego são críticas para a emissão de poluentes em geral. Estando os veículos parados com motor ligado, são produzidas as maiores emissões de CO. A condição mais favorável em termos de emissão de poluentes ocorre quando os veículos operam a velocidade constante. Entre as exceções estão o NO_x, que apresenta o segundo maior grau de emissão nesta condição. Essas características das condições de emissão permitem determinar quais serão os horários mais representativos para verificação da capacidade ambiental em áreas urbanas.

2.3.2.4. Regulagem e Manutenção

A regulagem e manutenção adequadas mantêm um funcionamento eficiente do motor, evitando desperdícios de combustível e garantindo que os níveis de emissão permaneçam dentro dos limites estabelecidos pela legislação. De acordo com Azuaga (2000), a qualidade da manutenção dos veículos está ligada, basicamente, aos fatores como: a capacitação técnica, cuidados com os serviços, peças de reposição e hábitos de manutenção.

2.3.3. Principais gases emitidos pelos veículos e seus efeitos

Os principais poluentes emitidos diretamente pelos veículos automotores são: o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os óxidos de enxofre (SO_x), o material particulado (MP) (partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis e partículas inaláveis finas) e os aldeídos.

Esses poluentes principais podem ocasionar, em função de diversos fatores condicionantes, efeitos sobre a saúde humana, o bem-estar da comunidade, a segurança do tráfego, a vegetação, a propriedade, entre outros (Margullis, 1990). No que se refere à saúde em particular, a existência de indivíduos suscetíveis à exposição a estes poluentes, tais como portadores de doenças cardiovasculares e respiratórias, pessoas idosas e crianças, causa maior preocupação, pois os efeitos são multiplicados, podendo até ser fatais.

2.3.3.1. Monóxido de Carbono (CO)

O CO é inodoro, incolor e apresenta forte afinidade com a hemoglobina, 240 vezes superior à do oxigênio (Saldiva *et al.*, 1995). CO combinado com a hemoglobina forma a carboxihemoglobina, diminuindo a capacidade de oxigenação dos tecidos pelo sangue. Produz efeitos nos sistemas nervoso central, cardiovascular, pulmonar e outros. A poluição por CO é encontrada sempre em altos níveis nas áreas de intensa circulação de veículos dos grandes centros urbanos. (DENATRAN, 1980).

O monóxido de carbono é formado em grande quantidade nas altas temperaturas do início do processo de combustão, oxidando-se nos processos subsequentes de expansão e resfriamento, formando o dióxido de carbono (CO₂).

A ameaça à saúde devido à exposição ao CO é mais séria para aqueles indivíduos que já sofrem de doenças cardiovasculares. Indivíduos saudáveis também são afetados, mas somente em níveis altos de exposição. Esse alto nível de exposição ao CO ocasiona irritação nos olhos, redução da capacidade de trabalho, redução de destreza manual e dificuldade em realizar tarefas complexas (EPA, 2005).

2.3.3.2. Dióxido de Carbono (CO₂)

O dióxido de carbono não é diretamente associado com os efeitos nocivos à saúde humana, uma vez que o CO₂, juntamente com a água, é um produto da respiração. Todavia, estudos recentes associam-no como um dos gases responsáveis pela intensificação do efeito estufa, devido à sua capacidade de absorção de radiação infravermelha (Onursal e Gautam, 1995). O problema está no desequilíbrio do ciclo do carbono na natureza, onde está sendo liberado na atmosfera mais CO₂ do que o meio-ambiente é capaz de absorver. Esse excesso de emissões pode ser atribuído às atividades antropogênicas como, por exemplo, a queima de combustíveis fósseis.

Nos motores de ciclo Otto, após a formação de grandes quantidades de CO no início da combustão, os processos de expansão e resfriamento terminarão por formar o CO₂ devido à oxidação do CO com o oxigênio presente na atmosfera.

2.3.3.3. Hidrocarbonetos (HC)

As emissões de hidrocarbonetos (HC) resultam da evaporação de combustíveis e outros produtos voláteis, além do combustível não queimado ou parcialmente queimado, sendo expelidos pelo motor em maiores quantidades, principalmente quando este opera com misturas ricas ou extremamente pobres em combustível.

Os hidrocarbonetos provenientes das emissões veiculares são significativos em seus efeitos. As parafinas, as olefinas e compostos aromáticos têm importância na formação de oxidantes na atmosfera, além de causar possíveis danos à saúde. Alguns HC's do grupo dos aromáticos polinucleados estão associados ao aparecimento do câncer pulmonar, embora não haja evidência de que as concentrações dos aromáticos, existentes nas áreas urbanas, possam causar o surgimento da doença. Um outro efeito a ser considerado é o efeito narcótico, principalmente se inalado junto com o CO, o que pode induzir a dor de cabeça e sonolência (DENATRAN, 1980).

2.3.3.4. Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

O NO não tem cheiro nem cor e é produzido em processo de combustão pela oxidação de N_2 do ar pelo O_2 . A reação $N_2 + O_2 = 2 NO$ é favorável em altas temperaturas e, por isto, sua produção é maior em motores de veículos pesados (Sala, 1999). Os automóveis também produzem NO, sobretudo quando estão em alta velocidade.

Os NO_x contribuem para a formação do *smog* fotoquímico devido à sua reação com alguns grupos de hidrocarbonetos, ocasionando a redução de visibilidade nas vias. Os óxidos de nitrogênio resultam da combinação do oxigênio e do nitrogênio presentes no ar admitido pelo motor em condições de alta temperatura e pressão (DENATRAN, 1980).

2.3.3.5. Material Particulado (MP)

Material Particulado é o termo usado para partículas sólidas e líquidas presentes no ar atmosférico. Algumas são grandes o suficiente para serem vistas a olho nu, como a fumaça, enquanto outras só são detectadas via microscópio (EPA, 2005).

Estudos indicam que a maior parte do material particulado lançado na atmosfera pela exaustão dos veículos é composta de partículas grossas, de diâmetro de 15 a 100 μm . Seus efeitos estão relacionados com a diminuição da qualidade de vida urbana devido às sensações desagradáveis que impressiona os sentidos, a redução de visibilidade e a interferência na operação segura nas vias. Partículas menores, mais nocivas ao organismo, formam-se primeiramente durante a combustão, tendo como matéria-prima os aditivos colocados nos combustíveis. Essas partículas, por suas pequenas dimensões, 0,01 a 10 μm , penetram no organismo, causando lesões ou depósitos inconvenientes nos brônquios, faringe e pulmão. (DENATRAN, 1980).

2.3.3.6. Óxidos de enxofre

Os óxidos de enxofre são gerados devido à queima de combustíveis, tanto no setor industrial, quanto no setor de transportes, principalmente pelos veículos movidos a diesel por conta do alto teor de enxofre destes. Os efeitos do dióxido de enxofre estão relacionados com diversos tipos de irritação, principalmente no aparelho respiratório, podendo ser temporárias ou permanentes. A exposição a altas concentrações de SO_2 agrava as doenças respiratórias e cardiovasculares pré-existentes. Estudos epidemiológicos e

clínicos mostram que certas pessoas são mais sensíveis ao SO₂ que outras. Exposições prolongadas a baixas concentrações de SO₂ têm sido associadas ao aumento de morbidade cardiovascular em pessoas idosas. Em certas condições, o SO₂ pode transformar-se em SO₃, por ação catalítica de metais mediante a absorção de energia solar, e que, quando combinado com a umidade do ar, produz ácido sulfúrico. Os NO_x e SO₂, causadores da chuva ácida, podem causar danos, como corrosão, em diversos materiais. (Sala, 1999).

2.4. TÓPICOS CONCLUSIVOS

Ao longo dos séculos, a atividade humana tem contribuído para a degradação do meio ambiente, originando efeitos adversos e muitas vezes irreversíveis, ameaçando o bem estar da população. Ressalta-se, então, a importância de se conhecerem as atividades que contribuem para a poluição do ar, a origem das emissões dos poluentes no ar, seus efeitos no meio ambiente e na saúde e bem estar do ser humano. A compreensão sólida das origens das emissões dos poluentes será requisito importante para a definição de estratégias eficientes de melhoria da qualidade do ar.

Os efeitos adversos da poluição do ar vêm se intensificando nas últimas décadas, principalmente na saúde da população. A emissão excessiva de poluentes provoca sérios danos à saúde, como problemas respiratórios, alergias, doenças cardiovasculares, câncer e abortos. Deste modo, torna-se necessário conhecer, por meio de um controle da qualidade, quanto o ar está poluído e como isso afeta a população.

A poluição do ar é o principal impacto ambiental gerado pelo aumento dos veículos automotores em circulação. Nos centros urbanos, os veículos de motores a combustão dos ciclos Otto e Diesel são os responsáveis pelas emissões veiculares. Assim, é importante conhecer o processo de formação e emissão dos poluentes, bem como os métodos de controle para redução das emissões produzidas por esses veículos.

Por fim, o estudo das condições e situações reais que influenciam nas emissões da poluição veicular é essencial para assim estabelecer parâmetros reais que permitam medir e controlar estas emissões. O estabelecimento de medidas de controle, tais como padrões de qualidade do ar ou padrões de emissão, permitem a redução das emissões veiculares, tema central do próximo capítulo.

3. CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR

3.1. APRESENTAÇÃO

Como observado no capítulo anterior, as emissões veiculares, de uma maneira geral, provocam danos aos meios físico, biótico e socioeconômico, tornando-se necessária a adoção de medidas que auxiliem no controle dos seus efeitos no meio ambiente. O controle da poluição do ar envolve medidas indiretas e diretas. As medidas indiretas são ações que visam à eliminação, redução, diluição, segregação ou afastamento dos poluentes. Dentre estas medidas tem-se a aplicação de tecnologias e combustíveis limpos, o planejamento urbano e as medidas correspondentes, e, também, aquelas medidas que permitam impedir e/ou reduzir a geração de poluentes.

As medidas diretas são ações que objetivam reduzir a quantidade de poluentes emitida na atmosfera por meio da instalação de equipamentos de controle (monitoramento do ar), as quais não serão abordadas nesta pesquisa. Não obstante, estas medidas diretas só deveriam ser implementadas quando todos os esforços para a adoção de medidas indiretas fossem esgotados sem que tenha sido alcançada a redução necessária na emissão ou a concentração de poluentes (Assunção, 1998).

Os aspectos legais e institucionais constituem ferramentas imprescindíveis para implantação e bom andamento dos programas de controle da poluição do ar. Este controle pode ser realizado segundo padrões de qualidade de ar, padrões de emissão, de impostos ou taxas por emissão de poluentes e análise do custo/benefício, entre outros mecanismos (Lora, 2000).

Porém, o estabelecimento de limites de tolerância aos níveis de contaminação atmosférica é necessário para assegurar à comunidade uma propriedade do ar que não represente risco à saúde e que não comprometa sua qualidade de vida (Yamashita, 2001). Assim, o estabelecimento de padrões vem servir de referência quantitativa para realização de balanços entre o total de emissão de poluentes sujeitos às variáveis de dispersão (concentração local) e os níveis aceitáveis (padrões).

Com base nessa abordagem, este capítulo tem como objetivo apresentar, de forma geral, os esforços da comunidade científica mundial e brasileira na realização de pesquisas em busca da redução das emissões por meio do estabelecimento de padrões de qualidade do ar, índices de qualidade do ar e padrões de emissão veicular.

3.2. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Quando se determina a concentração de um poluente na atmosfera, mede-se o grau de exposição dos receptores como resultado final do processo de lançamento deste poluente na atmosfera, do ponto de vista físico (diluição) e químico (reações químicas). Os níveis de referência, também conhecidos como padrões de qualidade do ar, fornecem suporte para determinar as relações entre as emissões dos poluentes e os efeitos sobre o meio ambiente. Os padrões de qualidade do ar (PQAR) definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera que garanta a proteção da saúde e o bem-estar das pessoas (CETESB, 2006).

Para se verificar tais padrões, são realizados monitoramentos da qualidade do ar que, segundo a CETESB (2006), possuem como principais objetivos: *(i)* obter dados para ativar ações de emergência durante períodos de estagnação atmosférica, quando os níveis de poluentes possam representar risco à saúde pública; *(ii)* avaliar a qualidade do ar à luz de limites estabelecidos para proteger a saúde e o bem-estar das pessoas; *(iii)* acompanhar as tendências e mudanças na qualidade do ar devido às alterações nas emissões dos poluentes. No entanto, para atingir esses objetivos, torna-se necessária a fixação de padrões legais para o monitoramento da qualidade do ar. Na experiência internacional, assim como no Brasil, o monitoramento da poluição atmosférica e o controle da qualidade do ar são previstos por legislação, a qual estabelece padrões nacionais de qualidade do ar.

O Brasil adotou padronização americana proposta pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency* - EPA) por meio do *Clean Air Act*. Nos estados norte-americanos foram estabelecidos padrões de qualidade do ar (*National Ambient Air Quality Standards* - NAAQS) para poluentes prejudiciais à saúde pública e ao meio ambiente. Estes padrões são classificados em primários e secundários, sendo os primários aqueles que fixam limites para proteger a saúde pública, incluindo a saúde das populações “sensíveis”, tais como asmáticos, crianças e idosos. Os padrões secundários

fixam limites para proteger o bem-estar público, incluindo a proteção contra a diminuição da visibilidade, danos aos animais, plantações, vegetação e construções.

A EPA estabeleceu padrões de qualidade do ar (NAAQS) para seis poluentes principais, os chamados “*criteria pollutants*”. Esses poluentes são: o monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, ozônio, chumbo, dióxido de enxofre, partículas <10 µm (PM₁₀), partículas <2,5 µm (PM_{2.5}). De forma geral, os principais poluentes que servem como padrões de qualidade do ar, consagrados universalmente, são: dióxido de enxofre (SO₂), partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, fumaça, monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂) (EPA, 2004). A razão da escolha desses poluentes está relacionada com sua maior frequência de ocorrência e com efeitos adversos que causam ao meio ambiente. Os padrões de qualidade da EPA são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Padrões de qualidade do ar adotado nos EUA pela EPA.

POLUENTES	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO	PADRÃO SECUNDÁRIO
Monóxido de carbono (CO)	1 hora	40.000 (35 ppm)	-
	8 horas	10.000 (9 ppm)	-
Dióxido de enxofre (SO ₂)	24 horas	365 (0,14 ppm)	-
	3 horas	-	1300 (0,50 ppm)
	MAA	80 (0,03 ppm)	-
Partículas inaláveis (<10 µm)	24 horas	150	150
	MAA	50	50
Partículas inaláveis (<2,5µm)	24 horas	65	65
	MAA	15	15
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	MAA	100(0,053 ppm)	100(0,053 ppm)
Chumbo (Pb)	Média Trimestral	1,5	1,5
Ozônio	1 hora	235 (0,12 ppm)	235 (0,12 ppm)
	8 horas	157 (0,08 ppm)	157 (0,08 ppm)
Hidrocarbonetos (menos metano)	3 horas	160 (0,24 ppmC)	-

Fonte: EPA (2004)

A Tabela 3.2 apresenta os níveis máximos recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), para os principais poluentes em função do tempo de amostragem e a média aritmética anual expressa em µg/m³.

Tabela 3.2 Níveis máximos recomendados pela OMS.

POLUENTES	TEMPO DE AMOSTRAGENS			MÉDIA ARITMÉTICA ANUAL (µg/m ³)
	1h (µg/m ³)	8h (µg/m ³)	24h (µg/m ³)	
Fumaça	-	-	100 – 150	40 – 60
Part. totais em suspensão	-	-	150 – 230	60 – 90
Part. inaláveis (MP ₁₀)	-	-	70	-
Ozônio	150 – 200	100 – 120	-	-
Dióxido de enxofre	-	-	100 – 150	40 – 60
Monóxido de carbono	30	10	-	-
Dióxido de nitrogênio	400	-	150	-

Fonte: CETESB (1997)

No Brasil, os padrões foram estabelecidos pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) e aprovados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) com a Resolução CONAMA nº 03/90.

Estes padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são fixados em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada. Assim, foram estabelecidos dois tipos de padrões de qualidade do ar:

a) padrões primários: são as concentrações de poluentes, que, uma vez ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Definem-se como sendo níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo.

b) padrões secundários: são as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Definem-se como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

Os padrões nacionais de qualidade do ar fixados na Resolução CONAMA nº 03/90 são apresentados na Tabela 3.3, especificados em Tempo de Amostragem, Tipo de Padrão Primário e Secundário e Método de Medição. Observa-se que as unidades usadas para os dois tipos de padrão são: o peso das partículas por unidades de volume de ar, isto é miligramas ou micro gramas por metro cúbico (mg/m³, µg/m³) ou partículas por milhão de partes de mistura ar/gás (ppm).

Tabela 3.3 Padrões Nacionais da Qualidade do Ar.

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO (mg/m ³)	PADRÃO SECUNDÁRIO (mg/m ³)	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas totais em suspensão	24 horas ⁽¹⁾	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA ⁽²⁾	80	60	
Dióxido de enxofre	24 horas ⁽¹⁾	365	100	Pararosalina
	MAA ⁽³⁾	80	40	
Monóxido de carbono	1 hora ⁽¹⁾	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)	Infravermelho não dispersivo
	8 horas ⁽¹⁾	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	
Ozônio	1 hora ⁽¹⁾	160	160	Quimiluminescência
Fumaça	24 horas ⁽¹⁾	150	100	Refletância
	MAA ⁽³⁾	60	40	
Partículas Inaláveis	24 horas ⁽¹⁾	150	150	Separação Inercial/Filtração
	MAA ⁽³⁾	50	50	
Dióxido de Nitrogênio	1 hora ⁽¹⁾	320	190	Quimiluminescência
	MAA ⁽³⁾	100	100	

Fonte: Resolução CONAMA n° 03/90 (1990)

Notas: (1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano

(2) Média geométrica anual

(3) Média aritmética anual

A Resolução CONAMA n° 03/90 estabelece, ainda, níveis de qualidade do ar para elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de poluição do ar com o objetivo de prevenir o grave e o eminente risco à saúde da população. Entende-se por episódio crítico de poluição do ar quando há presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

Na Tabela 3.4, são apresentados os critérios para episódios agudos de poluição do ar. Os níveis estabelecidos segundo a CETESB (2006) são: nível de atenção, nível de alerta e nível de emergência. O nível de estado de emergência não deve ser atingido, em hipótese alguma, por ser considerado um limite de grande risco à saúde da população.

Tabela 3.4 Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Resolução CONAMA nº 03/90).

POLUENTE	ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA
Partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 horas	375	625	875
Partículas Inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 horas	250	420	500
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 horas	250	420	500
Dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 horas	800	1.600	2.100
Dióxido de Nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1 hora	1.130	2.250	3.000
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 24 horas	65.000	261.000	393.000
Monóxido de carbono (ppm) – 8 horas	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – 1 hora	400	800	1.000

Fonte: CETESB (2006)

3.3. ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR

A ocorrência de poluição do ar está relacionada com a alteração da composição da atmosfera. A interação entre as fontes poluidoras e a atmosfera define o nível de qualidade do ar, o que determina, por sua vez, o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores (homem, animais, plantas e materiais).

Para diferenciar o ar poluído daquele não poluído, são estabelecidos níveis de referência para o grau de poluição, que é medido pela quantificação das substâncias poluentes presentes no ar. Para informar a população sobre os dados de qualidade do ar e tomar medidas mitigadoras e, também, para simplificar o processo de divulgação desses dados, é utilizado um índice de qualidade do ar (CETESB, 2006).

O índice de qualidade do ar, atualmente em uso na CETESB, vem sendo aplicado desde 1981. Este índice foi concebido com base no “*Pollutant Standards Index*” (PSI), cujo desenvolvimento baseou-se na experiência dos Estados Unidos e Canadá. Este índice foi desenvolvido nos Estados Unidos pela EPA a fim de padronizar a divulgação da qualidade do ar pelos meios de informação (Lora, 2000).

Para cada poluente medido, é calculado um índice, e a divulgação utiliza o índice mais elevado, isto é, a qualidade do ar de uma estação de monitoramento é determinada pelo pior caso. Depois de calculado o valor do índice, o ar recebe uma qualificação, conforme a escala dada pela CETESB (2006), apresentada na Tabela 3.5.

Observam-se, na Tabela 3.5, os índices de qualidade do ar de forma simplificada, em que a ultrapassagem do padrão de qualidade do ar é identificada pela qualidade inadequada, ou seja, quando o índice é maior que 100. Um ar de má qualidade indica a ultrapassagem do nível de atenção (índice maior ou igual a 200). A péssima qualidade do ar, observada quando o índice é maior ou igual a 300, indica a ultrapassagem do nível de alerta. A qualidade crítica (índice maior que 400) é observada quando há a ultrapassagem do nível de emergência.

Tabela 3.5 Escala simplificada dos índices de qualidade do ar.

ÍNDICE	QUALIDADE DO AR	ESTADO
0 - 50	BOA	
51 - 100	REGULAR	-
101 - 199	INADEQUADA	
200 - 299	MÁ	ATENÇÃO
300 - 399	PÉSSIMA	ALERTA
> 400	CRÍTICA	EMERGÊNCIA

Fonte: CETESB (2006)

Na Tabela 3.6, estão apresentados os critérios para a definição das faixas dos índices de qualidade do ar, os intervalos que definem as mudanças de faixa para cada poluente, assim como uma descrição geral de efeitos sobre a saúde e precauções recomendadas. Conforme visto, a estrutura do índice de qualidade do ar contempla, conforme Resolução CONAMA n.º 03/90, os seguintes parâmetros: dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, fumaça, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio.

Tabela 3.6 Estrutura do Índice de Qualidade do ar.

QUALIFICAÇÃO/ ÍNDICE	NÍVEL DE QUALIDADE DO AR	SO2 Média 24 h µg/m³	PTS Média 24 h µg/m³	Produto da Média de SO2 x PTS Média 24 h µg/m³	MP10 Média 24 h µg/m³	Fumaça Média 24 h µg/m³	CO Média 8 h ppm	O3 Média 1 h µg/m³	NO2 Média 1 h µg/m³	DESCRIÇÃO DOS EFEITOS SOBRE A SAÚDE
Boa (0 -50)										
50	50 % PQAR	80 (a)	80(a)		50(a)	60 (a)	4,5	80	100(a)	
Regular (51-100)										
100	PQAR	365	240		150	150	9	160	320	
Inadequada (101-199)										Leve agravamento de sintomas em pessoas suscetíveis, com sintomas de irritação na população sadia.
200	ATENÇÃO	800	375	65.000	250	250	15	200	1130	
Má (200-299)										Decréscimo da resistência física e significativo agravamento dos sintomas em pessoas com enfermidades cardíaco-respiratórias. Sintomas gerais na população sadia.
300	ALERTA	1600	625	261.000	420	420	30	800	2260	
Péssima (300-399)										Aparecimento prematuro de certas doenças, além de significativo agravamento de sintomas. Decréscimo da resistência física em pessoas saudáveis
400	EMERGÊNCIA	2100	875	393.000	500	500	40	1000	3000	
Crítica (>400)										Morte prematura de pessoas doentes e pessoas idosas. Pessoas saudáveis podem acusar sintomas adversos que afetam sua atividade normal
500	CRÍTICO	2620	1000	490.000	600	600	50	1200	3750	

Fonte: CETESB (2006)

SO₂ – dióxido de enxofre

PTS – partículas totais em suspensão

MP10 – material particulado

CO – monóxido de carbono

O₃ - ozônio

NO₂ – dióxido de nitrogênio

(a) – PQAR anual

3.4. PADRÕES DE EMISSÃO VEICULAR

A concentração de poluentes no ar é função do acúmulo de substâncias lançadas pelas diversas fontes. Assim, outro nível de referência empregado para definir a qualidade do ar é o padrão de emissão. Para este padrão, existe um limite estabelecido legalmente e que quantifica o nível máximo de emissão de um determinado poluente na fonte.

Devido ao problema da poluição atmosférica formada pelas emissões veiculares nos centros urbanos, verificou-se a necessidade da implantação de medidas de controle sobre a poluição do ar por veículos automotores. Assim, uma legislação destinada ao controle dessas emissões começou a ser estabelecida em diferentes países. Dentre as várias questões abordadas por estas legislações, geralmente, estabelecem-se limites máximos dos gases emitidos pelos veículos por meio do escapamento e, em alguns casos, pelo cárter, tanque de combustível e durante o reabastecimento. Estes limites são conhecidos como padrões de emissão veicular. Neste item, serão apresentados os padrões de emissão veicular, tanto os estabelecidos na experiência internacional, quanto os estabelecidos no Brasil.

3.4.1. Padrões de emissão veicular na experiência internacional

A regulamentação para o controle de emissões veiculares foi primeiramente implantada nos EUA. Desde então, medidas de controle destas emissões foram implantadas em diversos países (Japão, países da União Européia, etc.), fazendo com que as indústrias automobilísticas e de petróleo comesçassem a produzir veículos e combustíveis menos poluentes. Enquanto os países desenvolvidos foram avançando em termos de controle de emissões veiculares, diversas cidades de países em vias de desenvolvimento (como por exemplo, São Paulo, Santiago de Chile, etc.) começaram a ter problemas de poluição atmosférica de origem veicular devido ao grande crescimento da frota.

Assim, o conhecimento das experiências internacionais no controle da poluição veicular, segundo o estabelecimento de padrões de emissão veicular, é de vital importância para um melhor direcionamento das ações em nível nacional. Para tanto, a seguir serão apresentados os padrões de emissão estabelecidos na União Européia, Japão, Estados Unidos.

3.4.1.1. Padrões de Emissão da União Européia (UE)

No início da década de 1970, estabeleceram-se limites europeus para emissão veicular. Em 1989, a União Européia impôs padrões Euro I, generalizando a utilização de sistemas de controle de emissões avançadas baseados na utilização de catalisadores de três vias. Em 1996, foi implantado o padrão Euro II, iniciando o estudo tanto do aspecto da tecnologia do veículo, quanto da qualidade dos combustíveis comerciais.

No ano 2000, os padrões de emissão Euro III e Euro IV entraram em vigor, estabelecendo padrões mais rigorosos tanto para veículos a gasolina como a diesel. A vida-útil do veículo para o propósito da regulamentação das emissões é de 80.000 km ou 5 anos de uso para os padrões Euro III e de 100.000 km ou 5 anos para os padrões Euro IV.

Os limites das emissões dos veículos leves de passageiros são medidos, em testes, em dinamômetros denominados ECE 15 (ECE regulamento 15) e EUDC (*Extra Urban Driving Cycle*) expresso em g/km. O teste ECE, conhecido também como UDC (*Urban Driving Cycle*), é um ciclo urbano de direção elaborado para representar as condições de direção das cidades de Paris e Roma, com velocidade baixa de veículos. O ciclo EUDC foi adicionado para formas mais agressivas de direção com velocidades mais altas, caracterizando condições de condução de vias expressas e rodovias (Dieselnet, 2004).

Na Tabela 3.7, são apresentados os padrões de emissão veicular da União Européia para veículos leves movidos a gasolina. Observa-se que, para todos os veículos, o ciclo de testes regulador é o EUDC e o teste NEDC (*New European Driving Cycle*), que envolve a partida a frio, o que determinou limites, expressos em g/km, muito mais rigorosos para o CO, HC e NO_x.

Tabela 3.7 Padrões de emissão da União Européia para veículos leves a gasolina.

Padrões Europeus	Diretriz	Implementação	Ciclo de testes	Limites (g/km)			
				CO	HC	NO _x	HC + NO _x
pré-Euro I	70/220/EEC			até 10	-	-	até 2,55
Euro I	91/441/EEC	1/1/1993	ECE15+EUDC	2,72	-	-	0,97
Euro II	94/12/EC	1/1/1996		2,20	-	-	0,70
Euro III	98/69/EC	1/1/2000		2,30	0,20	0,15	-
Euro IV	98/69/EC	1/1/2005	NEDC+EUDC	1,00	0,10	0,08	-

Fonte: AEAT *apud* Filizola (2005).

3.4.1.2. Padrões de emissão da Agência Ambiental do Japão (JEA)

No Japão, o controle das emissões para os veículos movidos a gasolina e diesel tem se dado desde a década dos anos 1960, estabelecendo-se padrões de emissão para o CO, HC e NO_x. Atualmente, é utilizado no Japão o ciclo de testes modo 10-15 para regular as emissões e consumo de combustível para veículos automotores leves. Estes procedimentos se assemelham ao ciclo de testes adotados pela ECE, aplicáveis para caminhões leves e médios movidos a gasolina. As unidades de medidas são gramas por teste (g/teste), partículas por milhão de partes de mistura ar/gás por teste (ppm/teste) e gramas por quilômetro (g/km).

A medição de poluentes, no ciclo de teste modo 10-15, é realizada com a partida a quente. O teste consiste em uma série de acelerações e desacelerações entre 20 e 40 km/h com picos de velocidade de 70 km/h, simulando as situações de “anda” e “pára” de um trânsito congestionado, com o veículo rodando em velocidades baixas, com várias acelerações e desacelerações, o qual representa um padrão médio de condução em áreas urbanas (Filizola, 2005).

No caso do ciclo de teste modo 11, também utilizado pela JEA, simula-se o padrão de condução de veículos que realizam a partida a frio, em um percurso partindo das áreas urbanas e seguindo para fora delas. O procedimento é composto por acelerações e desacelerações uniformes intercaladas por patamares de velocidades entre 40 e 60 km/h, com medições expressas em gramas por teste (g/teste).

Conforme visto na Tabela 3.8, em que se apresenta o histórico do controle das emissões veiculares no Japão, os valores de 1978 estão atualizados para o CO, HC e NO_x. Os limites são aplicáveis a todos os veículos novos que possuam inércia equivalente acima de 1000 kg. Os valores mostrados são os máximos permitidos e são aplicáveis apenas aos veículos novos, tendo validade por 30.000 km de uso.

Tabela 3.8 Histórico do controle de emissões veiculares no Japão.

Ano	Poluente			Unidade	Ciclo de testes
	CO	HC	NO _x		
1966	3,0	-	-	% vol	modo 4
1969	2,5	-	-	% vol	modo 4
1973	26,0	3,8	3,0	g/km	modo 10
1975	2,7	0,4	1,6	g/km	modo 10
	85,0	9,5	11,0	g/teste	modo 11
1976	2,7	0,4	1,2	g/km	modo 10
	85,0	9,5	9,0	g/teste	modo 11
1978	2,7	0,4	0,5	g/km	modo 10
	85,0	9,5	6,0	g/teste	modo 11

Fonte: Adaptado de Faiz *et al.* (1990) e JEA (2004).

3.4.1.3. Padrões de emissão norte-americanos

Desde a década de 1970, esforços norte-americanos têm sido realizados para controlar as emissões veiculares. O programa *Clean Air Act* elaborou uma agenda para identificação de áreas cuja qualidade do ar estava deteriorada, promovendo a implantação de uma nova legislação voltada para a redução da poluição atmosférica. Atualmente, medidas diversas atualizam e incluem novos limites e programas de redução de emissões.

A Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), a qual regula a emissão de poluição proveniente de veículos automotores, utiliza ciclo de testes denominado FTP (*Federal Test Procedure*). Este teste simula diversas situações de tráfego para certificação de emissões de veículos leves de passageiros dos Estados Unidos.

O FTP é o método de teste de laboratório padronizado, utilizado nos EUA e no Canadá, para verificar emissões de veículos novos na homologação de protótipos. O teste utiliza dinamômetros, nos quais os veículos são guiados por motorista treinado, em ciclos, representando condições diferentes de direção do veículo. O ciclo de teste é composto por três fases: fase inicial (partida a frio), fase intermediária e fase final (partida a quente), com uma distância de percurso no ciclo de 17,77 km, uma duração de 1.874 segundos e uma velocidade média de 34,1 km/h.

Observa-se, na Tabela 3.9, a evolução dos padrões de emissão veicular norte-americanos para veículos leves a gasolina. As emissões dos veículos leves são medidas pelo teste FTP 75, expressos em g/milha e em g/km. Estes padrões de emissão são aplicáveis para toda a vida útil do veículo, sendo definido como 50.000 milhas (80.000 km) ou cinco anos de uso.

Tabela 3.9 Evolução dos padrões de emissão para veículos leves a gasolina (g/km).

Ano Modelo	CO	HC	NO _x
Pré -1968 (sem controle)	56,25	9,375	3,875
1970	21,25	2,56	-
1972	17,50	1,875	-
1973-74	9,375	1,875	1,9375
1975-76	9,375	0,9375	1,9375
1977	9,375	0,9375	1,25
1980	4,375	0,2563	1,25
1981 (Fase 0)	2,125	0,2563	0,625
1994-96 (Fase 1)	2,125 (2,125)	0,1563 (0,1938)	0,25 (0,375)
2006 (Fase 2)	1,06 (1,06)	0,0781 (0,0781)	0,0125 (0,0125)

Fonte: CONCAWE *apud* Filizola (2005).

Observa-se, também na Tabela 3.9, que os padrões em vigor até 2006 são mais severos que padrões de anos anteriores a 1981. Em 1996, a Fase 1 considerou a vida útil do veículo sendo de 100.000 milhas (160.000 km) e fatores de emissão sendo uma quilometragem superior a 80.000 km. (CONCAWE *apud* Filizola, 2005).

Nos Estados norte-americanos, padrões de emissão cada vez mais severos têm sido estabelecidos em função das melhoras tecnológicas dos veículos. Como por exemplo, o Comitê de Recursos do Ar da Califórnia (*Califórnia Air Resources Board* - CARB) define várias categorias de veículos para determinar novos padrões de emissão, tais como: veículos de baixa emissão (LEV), veículos transitórios de baixa emissão (TLEV), veículos de emissão ultra baixa (ULEV), veículos de emissão zero (ZEV). Essas categorias incluem veículos movidos a gasolina, gás natural e elétricos. Os valores estabelecidos para os padrões de emissão utilizam o ciclo de testes FTP.

Os limites de emissão veicular norte-americanos foram responsáveis por reduções significativas da poluição veicular, estimulando a evolução tecnológica dos veículos para atenderem aos padrões de emissão e servindo de exemplo para regulamentações de diversos países, incluindo o Brasil.

3.4.2. Padrões de emissão veicular no Brasil

O Brasil foi o primeiro país da América do Sul a adotar uma legislação voltada para a redução das emissões veiculares. As disposições legais em vigor, em relação a padrões emissão de veículos, são apresentadas na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 Principais legislações a respeito da poluição do ar por veículos automotores.

Documento	Disposições
Lei nº. 8.723/93	Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e outras providências.
Resolução CONAMA nº. 18/86	Dispõe sobre a criação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE.
Resolução CONAMA nº. 7/93	Define as diretrizes básicas e padrões de emissão para o estabelecimento de Programas de Inspeção e Manutenção de veículos em uso - I/M.
Resolução CONAMA nº. 8/93	Atualiza o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, com relação aos veículos pesados e apresenta outras providências.
Resolução CONAMA nº. 14/95	Atualiza o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, com relação à durabilidade das emissões.
Resolução CONAMA nº. 15/95	Estabelece nova classificação de veículos automotores, para o controle de emissão veicular de gases, material particulado e evaporativa, considerando os veículos importados.
Resolução CONAMA nº. 16/95	Atualiza o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, com relação à fumaça em aceleração livre para veículos a diesel.
Portaria IBAMA nº. 86/96	Regulamenta os procedimentos para importação de veículos automotores e motocicletas quanto aos requisitos do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE.
Resolução CONAMA nº. 241/98	Estabelece limites máximos de emissão de poluentes para veículos importados.
Resolução CONAMA nº. 315/2002	Dispõe sobre as novas etapas do Programa de Controle de Emissões Veiculares – PROCONVE.
Instrução Normativa IBAMA nº. 28/2002	Estabelece procedimentos para realização de ensaios de emissão para fins de homologação de veículos movidos a mistura Gasolina /Álcool.
MERCOSUL / GMC / RES. nº.128/96	Dispõe sobre os limites de emissão de poluentes e ruídos, prazo de implementação e procedimentos de ensaio, harmonizados no âmbito do MERCOSUL.

Fonte: IBAMA (1998).

Perante o rápido crescimento da frota veicular, verificou-se a significativa contribuição dessa fonte de emissão na degradação da qualidade do ar, principalmente nas regiões metropolitanas do país, levando o Governo Federal a instituir, em 1986, o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) mediante a Resolução nº. 18 (IBAMA, 1998).

O PROCONVE deu prioridade ao segmento de veículos leves devido ao seu grande número e sua utilização intensiva, o que caracteriza como o maior problema em termos de poluição veicular. Segundo o IBAMA (2000), o PROCONVE tem como principal meta a

“redução da poluição atmosférica através do estabelecimento de limites de emissão veicular, induzindo o desenvolvimento tecnológico dos fabricantes e determinando que os veículos e motores atendam aos limites de emissões, em ensaios padronizados e com combustível de referência”.

Por meio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), desenvolveu-se uma metodologia para determinar os gases emitidos pelo escapamento de veículos. A Norma Brasileira NBR 6601/2001, intitulada “Veículos rodoviários automotores leves – Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono no gás de escapamento”, indica o método para determinação de HC, CO, NO_x e CO₂ emitidos pelo motor, por meio do tubo de descarga de veículos rodoviários leves equipados com motores ciclo OTTO. A norma indica os combustíveis utilizados nos motores, podendo ser gasolina, álcool etílico hidratado ou mistura de ambos, em qualquer porcentagem. Indica, também, as características mínimas dos equipamentos e materiais e estabelece o ciclo de condução utilizado na execução dos ensaios.

Na norma NBR 6601, o procedimento adotado para a medição dos gases de escapamento é o teste FTP 75. O ciclo de condução, o mesmo utilizado pela EPA (Figura 3.1), é uma simulação de trânsito urbano do veículo e amostragem contínua da medição de CO, HC, NO_x e CO₂. Os resultados são expressos em g/km para cada gás analisado.

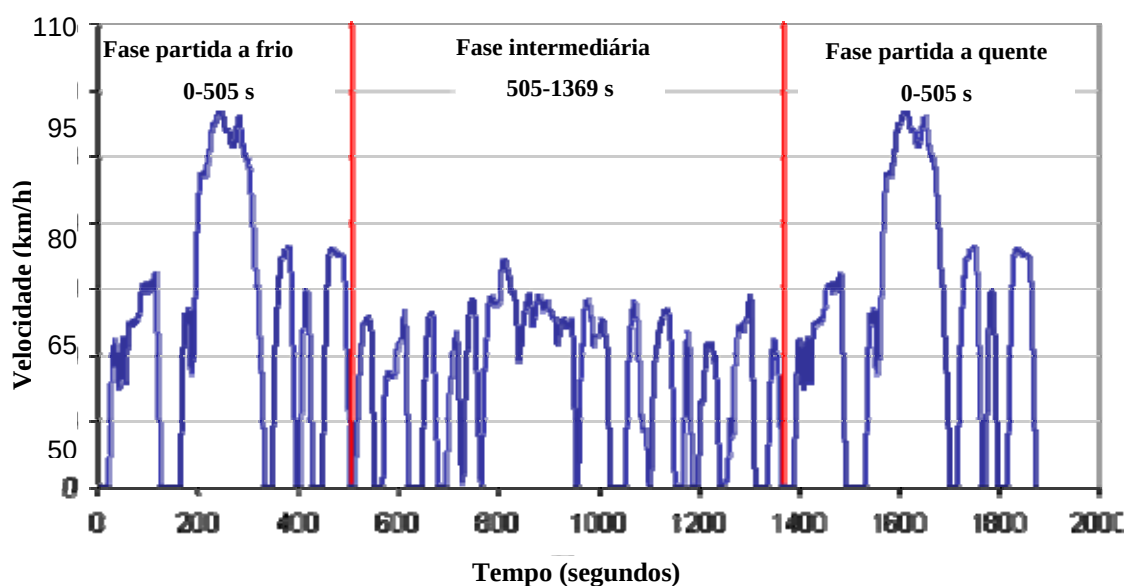


Figura 3.1 Ciclo de condução urbana utilizado pela NBR 6601.

Fonte: EPA (2000).

A legislação estabelece dois tipos de limites de emissões para os veículos leves: limites de emissão de gases de escapamento para veículos novos (em g/km) e limites para fins de inspeção de veículos leves do Ciclo Otto (em %vol e ppm). O PROCONVE estabeleceu um cronograma de redução gradual da emissão de poluentes para veículos leves de passageiros (automóveis), veículos leves comerciais (pick-up, van, utilitários, etc.) e para veículos pesados (ônibus e caminhões).

Além disso, o CONAMA definiu as diretrizes gerais para a implantação dos Programas de Inspeção e Manutenção (I/M) quanto aos aspectos de emissão de poluentes e ruído de veículos em uso, já o Código de Trânsito Brasileiro condiciona o licenciamento anual de veículo à sua aprovação nestes programas. Os Programas de I/M devem ser implantados e gerenciados pelos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente em conjunto com seus municípios, de acordo com as necessidades e possibilidades de cada um.

As Tabelas 3.11 a 3.13 mostram, de forma resumida, os limites máximos de emissão de poluentes para veículos automotores estipulados pelo PROCONVE.

Tabela 3.11 Limites Máximos de Emissão para Veículos Leves Novos.

ANO	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	RCHO2 (g/km)	MP3 (g/km)	EVAP.4 (g/teste)	CÁRTER	CO-ML (% vol)
89 – 91	2 ⁽⁴⁾	2,1	2	--	--	6	nula	3
92 – 966	2 ⁽⁴⁾	2,1	2	0,15	--	6	nula	3
92 – 93	1 ⁽²⁾	1,2	1,4	0,15	--	6	nula	2,5
mar/94	1 ⁽²⁾	1,2	1,4	0,15	0,05	6	nula	2,5
jan/97	2	0,3	0,6	0,03	0,05	6	nula	0,5
mai/03	2	0,3	0,6	0,03	0,05	2	nula	0,5
jan/05 (40%)	2	0,16 ⁽⁵⁾	0,25 ⁽⁷⁾	0,03	0,05	2	nula	0,5 ⁽⁷⁾
jan/06 (70%)	2	ou	ou	0,03	0,05	2	nula	0,5 ⁽⁷⁾
jan/07(100%)	2	0,30 ⁽⁶⁾	0,60 ⁽³⁾	0,03	0,05	2	nula	0,5 ⁽⁷⁾
jan/09	2	0,05 ⁽⁵⁾ ou	0,12 ⁽⁷⁾ ou	0,02	0,05	2	nula	0,5 ⁽⁷⁾
jan/09	2	0,30 ⁽⁶⁾	0,25 ⁽³⁾	0,02	0,05	2	nula	0,5 ⁽⁷⁾

Fonte: CETESB (2006).

Notas:

- (1) Medições de acordo com a NBR6601 (US-FTP75) e conforme as Resoluções CONAMA n°. 15/95 e n°. 315/02.
- (2) Apenas para veículos do ciclo Otto. Aldeídos totais de acordo com a NBR 12026.
- (3) Apenas para veículos do ciclo diesel.
- (4) Apenas para veículos do ciclo Otto, exceto a GNV.
- (5) Hidrocarbonetos não metano (NMHC).
- (6) Hidrocarbonetos totais somente para veículos a GNV, que também atendem ao item (5).
- (7) Apenas para veículos do ciclo Otto, inclusive a GNV.

Tabela 3.12 Limites de emissão para veículos pesados novos.

Tabela 011 - Limites de emissão para veículos pesados do CEE.							
TIPO DE EMISSÃO	DATA DE VIGÊNCIA	APLICAÇÃO	LIMITES DE EMISSÃO				k ⁽²⁾ FUMAÇA
			g/kWh			PARTÍCULAS	
			CO	HC	NO _x		
ESCAPAMENTO	1/10/1987	Ônibus urbanos diesel	-	-	-	-	2,5
	1/1/1989	Todos os veículos diesel					
	1/1/1994	Todos os veículos importados ⁽⁵⁾	4,9	1,23	9	0,7/04 ⁽³⁾	
		80% dos ônibus urbanos nacionais ⁽⁵⁾					
	1/3/1994	20% dos ônibus urbanos e	11,2	2,45	14,4	-	
		80% dos demais veículos diesel nacionais					
		20% dos veículos nacionais ⁽⁵⁾					
	1/1/1996	80% dos veículos nacionais ⁽⁵⁾	4,9	1,23	9	0,7/0,4 ⁽³⁾	
		20% dos ônibus urbanos nacionais ⁽⁵⁾					
	1/1/1998	80% dos ônibus urbanos nacionais ⁽⁵⁾	4,0 ⁽⁴⁾	1,10 ⁽⁴⁾	7,0 ⁽⁴⁾	0,25/0,15 ⁽⁴⁾	
		Todos os veículos importados ⁽⁵⁾					
1/1/2000	80% dos veículos nacionais ⁽⁵⁾						
	20% dos veículos nacionais ⁵	4,9	1,23	9	0,7/0,4 ⁽³⁾		
1/1/2002	Todos os veículos ⁽⁵⁾	4,0 ⁽⁴⁾	1,10 ⁽⁴⁾	7,0 ⁽⁴⁾	0,15 ⁽⁴⁾		
CARTER	1/1/1988	Ônibus urbanos diesel	Emissão nula em qualquer condição de operação do motor				
	1/1/1989	Todos os veículos Otto					
	1/7/1989	Todos os veículos diesel de aspiração natural					
	1/1/1993	Todos os veículos diesel turbo alimentados	Emissão nula em qualquer condição de operação do motor ou incorporada à emissão de HC do escapamento				
	1/1/1996	Todos os veículos diesel turboalimentados	Emissão nula em qualquer condição de operação do motor ⁴				

Fonte: CETESB (2006).

Notas:

(1) Medição de acordo com as Normas MB-3295 e NBR-10813 (ECE-E-49)

(2) C.ÖG onde: C = concentração carbônica (g/m³) e G = fluxo nominal de ar (l/s). Aplicável só aos veículos a diesel.

(3) 0,7 g/kWh para motores com potência até 85kW e 0,4g/kWh para motores de potência superior a 85 kW. Aplicável apenas aos veículos diesel.

Tabela 3.13 Limites máximos de emissão para veículos leves comerciais novos.

ANO	M.T.M. (kg) ⁽²⁾	M.V.E. (kg) ⁽³⁾	Ciclo Teste	Limites das emissões (g/km)					CO ⁽⁶⁾ Marcha Lenta %	Cárter	Evap. ⁽⁷⁾ (g/teste)
				CO	HC	NOx	RCHO ⁽⁴⁾	MP ⁽⁵⁾			
jan/98	≤ 3856	≤ 1700	FTP 75	2	0,3	0,6	0,03	0,12	0,5	nula	6
mai/03	≤ 3856	≤ 1700	FTP 75	2	0,3	0,6	0,03	0,12	0,5	nula	2
jan/05 (40%)	≤ 3856	≤ 1700	FTP 75	2	0,16 ⁽⁸⁾	0,25 ⁽¹⁰⁾	0,03	0,08	0,5	nula	2
jan/06 (70%)	≤ 3856	≤ 1700	FTP 75	2	ou	ou	0,03	0,08	0,5	nula	2
jan/07 (100%)	≤ 3856	≤ 1700	FTP 75	2	0,30 ⁽⁹⁾	0,60 ⁽⁵⁾	0,03	0,08	0,5	nula	2
jan/09	≤ 3856	≤ 1700	FTP 75	2	0,05 ⁽⁸⁾	0,12 ⁽¹⁰⁾	0,02	0,05	0,5	nula	2
jan/09	≤ 3856	≤ 1700	FTP 75	2	0,30 ⁽⁹⁾	0,25 ⁽⁵⁾	0,02	0,05	0,5	nula	2
jan/98	≤ 3856	>1700	FTP 75	6,2	0,5	1,4	0,06	0,16	0,5	nula	6
mai/03	≤ 3856	>1700	FTP 75	6,2	0,5	1,4	0,06	0,16	0,5	nula	2
jan/05 (40%)	≤ 3856	>1700	FTP 75	2,7	0,20 ⁽⁸⁾	0,43 ⁽¹⁰⁾	0,06	0,1	0,5	nula	2
jan/06 (70%)	≤ 3856	>1700	FTP 75	2,7	ou	ou	0,06	0,1	0,5	nula	2
jan/07 (100%)	≤ 3856	>1700	FTP 75	2,7	0,50 ⁽⁹⁾	1,00 ⁽⁵⁾	0,06	0,1	0,5	nula	2
jan/09	≤ 3856	>1700	FTP 75	2,7	0,06 ⁽⁸⁾	0,25 ⁽¹⁰⁾	0,04	0,06	0,5	nula	2
jan/09	≤ 3856	>1700	FTP 75	2,7	0,50 ⁽⁹⁾	0,43 ⁽⁵⁾	0,04	0,06	0,5	nula	2
jan/96	≥ 2000 ⁽¹¹⁾		13 modos	4,9	1,2	9	-	0,7 ⁽¹²⁾ ou	-	nula	-
jan/96	≥ 2000 ⁽¹¹⁾		13 modos	4,9	1,2	9	-	0,4 ⁽¹³⁾	-	nula	-
jan/00	≥ 2000 ⁽¹¹⁾		13 modos	4	1,1	7	-	0,15	-	nula	-
jan/05 (40%)	≥ 2000 ⁽¹¹⁾		ESC +	2,1	0,66	5	-	0,10 ou	-	nula	-
jan/06 (100%)	≥ 2000 ⁽¹¹⁾		ELR ^(14,15)	2,1	0,66	5	-	0,13 ⁽¹⁶⁾	-	nula	-
jan/05 (40%)	≥ 2000 ⁽¹¹⁾		ETC ⁽¹⁷⁾	5,45	0,78	5	-	0,16 ou	-	nula	-
jan/06 (100%)	≥ 2000 ⁽¹¹⁾		ETC ⁽¹⁷⁾	5,45	0,78	5	-	0,21 ⁽¹⁶⁾	-	nula	-
jan/09	≥ 2000 ⁽¹¹⁾		ESC +	1,5	0,46	3,5	-	0,02	-	nula	-
jan/09	≥ 2000 ⁽¹¹⁾		ELR ⁽¹⁸⁾	1,5	0,46	3,5	-	0,02	-	nula	-
jan/09	≥ 2000 ⁽¹¹⁾		ETC ⁽¹⁹⁾	4	0,55	3,5	-	0,03	-	nula	-

Fonte: CETESB (2006)

Notas:

- (1) Conforme Resolução Conama nº. 15/95 e 315/02.
- (2) M.T.M. = Massa Total Máxima.
- (3) M.V.E. = Massa de Veículo para Ensaio.
- (4) RCHO = Total de formaldeído e acetaldeído, apenas para veículos com motor Otto.
- (5) Apenas para veículos com motor diesel.
- (6) Apenas para veículos com motor Otto.
- (7) Apenas para veículos com motor Otto, exceto para o GNV.
- (8) Hidrocarbonetos não metano, apenas motores Otto, inclusive GNV.
- (9) Hidrocarbonetos totais, apenas para motores a GNV.
- (10) Para motores Otto, inclusive a GNV.
- (11) Procedimento opcional, apenas para veículos a diesel, com as emissões expressas em g/kWh.
- (12) Para motores até 85kW.
- (13) Para motores com mais de 85 kW.
- (14) Exceto para motores a GNV.
- (15) Limite de opacidade para motores do ciclo Diesel no ciclo ELR = 0,8 m(-1).
- (16) Somente para motores até 0,75L/cilindro e rotação de potência nominal acima de 3000 m(-1).
- (17) Para motores do ciclo Diesel com pós-tratamento de emissões (que deverão atender também ao item 14, e para motores a GNV).
- (18) Limite de opacidade para motores do ciclo Diesel no ciclo ELR = 0,5 m(-1).
- (19) Motores do ciclo Diesel atenderão aos limites nos ciclos ESC, ELR e ETC. Motores a GNV atenderão apenas a este item.

Os novos padrões de emissão do PROCONVE, a serem implantados até 2009, apresentam maiores avanços nos limites permitidos para NO_x e HC, uma vez que tais poluentes são considerados os formadores do ozônio por processos fotoquímicos. Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), observa-se que o ozônio é o poluente que tem ultrapassado freqüentemente os padrões de qualidade do ar, com isso, prevendo-se o mesmo comportamento em outras grandes metrópoles brasileiras.

Conforme observado nas tabelas anteriores, os limites de emissões para veículos leves, veículos leves comerciais e veículos pesados têm sido constantemente atualizados a partir da aplicação de novas tecnologias disponíveis para a redução de emissões. Nesse sentido, a CETESB utiliza os padrões para estabelecer o Inventário de Emissões Veiculares, considerando a composição da frota e sua idade para o cálculo de Fatores de Emissão (FE). Estes fatores são calculados a partir de valores obtidos em laboratórios, onde as situações são rigorosamente controladas. No estabelecimento do Inventário de Emissões, o FE passa a ser o indicador básico de emissão, expresso em gramas de poluente emitido por quilômetro rodado (g/km), de modo que, ao associar a este valor a quilometragem rodada, é possível calcular a emissão em massa do poluente sob consideração (CETESB, 1997).

Em se considerando os fatores de emissão para veículos leves novos, pode-se observar, pelos dados da Tabela 3.14, que os resultados obtidos nos diversos estágios de desenvolvimento tecnológico exigidos pelo PROCONVE, em relação aos veículos modelo-ano 1985, representam a situação sem controle de emissão, já que o PROCONVE entrou em vigor apenas em 1988. Os resultados práticos e positivos alcançados desde então mostram uma redução de até 97% dos índices de emissão de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e de aldeídos (CHO) por veículos leves.

Tabela 3.14 Fatores médios de Emissão de Veículos Leves Novos ^[1].

Ano Modelo	Combustível	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	RCHO (g/km)	CO ₂ ^[2] (g/km)	Autonomia ^[3] km/l	Emissão evaporativa g/teste
Pré - 1980	Gasolina	54,0	4,7	1,2	0,05	nd	nd	nd
1980 - 1983	Gasolina C	33,0	3,0	1,4	0,05	nd	nd	nd
	Álcool	18,0	1,6	1,0	0,16	nd	nd	nd
1984 - 1985	Gasolina C	28,0	2,4	1,6	0,05	nd	nd	23
	Álcool	16,9	1,6	1,2	0,18	nd	nd	10
1986 - 1987	Gasolina C	22,0	2,0	1,9	0,04	nd	nd	23
	Álcool	16,0	1,6	1,8	0,11	nd	nd	10
1988	Gasolina C	18,5	1,7	1,8	0,04	nd	nd	23
	Álcool	13,3	1,7	1,4	0,11	nd	nd	10
1989	Gasolina C	15,2 (-46%)	1,6 (-33%)	1,6 (0%)	0,040 (-20%)	nd	nd	23,0 (0%)
	Álcool	12,8 (-24%)	1,6 (0%)	1,1 (-8%)	0,110 (-39%)	nd	nd	10,0 (0%)
1990	Gasolina C	13,3 (-53%)	1,4 (-42%)	1,4 (-13%)	0,040 (-20%)	nd	nd	2,7 (-88%)
	Álcool	10,8 (-36%)	1,3 (-19%)	1,3 (-19%)	0,110 (-39%)	nd	nd	1,8 (-82%)
1991	Gasolina	11,5 (-59%)	1,3 (-46%)	1,3 (-19%)	0,040 (-20%)	nd	nd	2,7 (-88%)
	Gasolina C	8,4 (-50%)	1,1 (-31%)	1,0 (-31%)	0,110 (-39%)	nd	nd	1,8 (-82%)
1992	Álcool	6,2 (-78%)	0,6 (-75%)	0,6 (-63%)	0,013 (-74%)	nd	nd	2,0 (-91%)
	Gasolina C	3,6 (-79%)	0,6 (-63%)	0,5 (-58%)	0,035 (-81%)	nd	nd	0,9 (-91%)
1993	Álcool	6,3 (-77%)	0,6 (-75%)	0,8 (-50%)	0,022 (-56%)	nd	nd	1,7 (-93%)
	Gasolina C	4,2 (-75%)	0,7 (-56%)	0,6 (-50%)	0,040 (-78%)	nd	nd	1,1 (-89%)
1994	Álcool	6,0 (-79%)	0,6 (-75%)	0,7 (-50%)	0,036 (-28%)	nd	nd	1,6 (-96%)
	Gasolina C	4,6 (-73%)	0,7 (-56%)	0,7 (-77%)	0,042 (-77%)	nd	nd	0,9 (-91%)
1995	Álcool	4,7 (-83%)	0,6 (-75%)	0,6 (-62%)	0,025 (-50%)	nd	nd	1,6 (-96%)
	Gasolina C	4,6 (-73%)	0,7 (-56%)	0,7 (-42%)	0,042 (-77%)	nd	nd	0,9 (-91%)
1996	Álcool	3,8 (-86%)	0,4 (-83%)	0,5 (-69%)	0,019 (-62%)	nd	nd	1,2 (-95%)
	Gasolina C	3,9 (-77%)	0,6 (-63%)	0,7 (-78%)	0,040 (-78%)	nd	nd	0,8 (-92%)
1997	Álcool	1,2 (-96%)	0,2 (-92%)	0,3 (-81%)	0,007 (-86%)	nd	nd	1,0 (-96%)
	Gasolina C	0,9 (-95%)	0,3 (-84%)	0,3 (-75%)	0,012 (-93%)	nd	nd	1,1 (-82%)
1998	Gasolina C	0,79 (-97%)	0,14 (-94%)	0,23 (-86%)	0,004 (-92%)	nd	nd	0,81 (-96%)
	Álcool	0,67 (-96%)	0,19 (-88%)	0,24 (-80%)	0,014 (-92%)	nd	nd	1,33 (-87%)
1999	Gasolina C	0,74 (-97%)	0,14 (-94%)	0,23 (-86%)	0,004 (-92%)	nd	nd	0,79 (-96%)
	Álcool	0,60 (-96%)	0,17 (-88%)	0,22 (-80%)	0,013 (-92%)	nd	nd	1,64 (-84%)
2000	Gasolina C	0,73 (-97%)	0,13 (-95%)	0,21 (-87%)	0,004 (-92%)	nd	nd	0,73 (-97%)
	Álcool	0,63 (-96%)	0,18 (-89%)	0,21 (-83%)	0,014 (-92%)	nd	nd	1,35 (-87%)
2001	Gasolina C	0,48 (-98%)	0,11 (-95%)	0,14 (-91%)	0,004 (-92%)	nd	nd	0,68 (-97%)
	Álcool	0,66 (-96%)	0,15 (-91%)	0,08 (-93%)	0,017 (-91%)	nd	nd	1,31 (-87%)
2002 ^[4]	Gasolina C	0,43 (-98%)	0,11 (-95%)	0,12 (-95%)	0,004 (-92%)	198	10,9	0,61 (-97%)
	Álcool	0,77 (-96%)	0,16 (-90%)	0,08 (-93%)	0,017 (-91%)	191	7,2	nd
2003 ^[5]	Gasolina C	0,40 (-98%)	0,11 (-95%)	0,12 (-93%)	0,004 (-92%)	194	11,2	0,75 (-97%)
	Álcool	0,77 (-95%)	0,16 (-90%)	0,09 (-93%)	0,019 (-89%)	183	7,5	nd
	Flex-Gasol. C	0,50 (-98%)	0,05 (-98%)	0,04 (-98%)	0,004 (-92%)	210	10,3	nd
	Flex-Álcool	0,51 (-88%)	0,15 (-90%)	0,14 (-89%)	0,020 (-89%)	200	6,9	nd

Fonte: CETESB (2006).

Notas:

[1] Médias ponderadas de cada ano-modelo pelo volume de produção;

[2] Com a inclusão de dióxido de carbono, a partir de 2002;

[3] Obtida por balanço de carbono, conforme NBR 7024, para ciclo de condução urbana;

[4] Para os motores a gasolina predominam motores de 1.0 l; para os a álcool de 1.5 a 1.9 l;

[5] Para os motores a gasolina predominam motores de 1.0 l; para os a álcool de 1.0 a 1.8 l;

nd = não-disponível;

(%) Refere-se à variação verificada em relação aos veículos 1985, antes da atuação do PROCONVE;

Gasolina C: 78% gasolina + 22% álcool anidro (também conhecida como gasool).

3.4.3. Comparação entre os padrões de emissão veicular

Como visto nos itens anteriores, diversos países procuram estabelecer limites máximos de emissão para veículos novos, utilizando diferentes métodos para sua quantificação. Na determinação dos padrões, é importante considerar o ciclo de testes a ser utilizado. No caso dos Estados Unidos, a União Européia, Japão e Brasil, utilizam métodos diferentes para determinar os padrões de emissão, sendo difícil uma comparação direta com os valores estipulados por estes países. Embora existam diferenças metodológicas, os valores apresentam a mesma escala de grandeza e são bastante próximos. Observa-se, na Tabela 3.15, a comparação dos limites máximos, em vigor em 2006 nas quatro comunidades estudadas, para os gases CO, HC e NO_x, sendo os gases cujas emissões são reguladas nessas comunidades.

Tabela 3.15 Comparação entre os Padrões de Emissão Veicular.

Origem	Ano de vigência	Limites		
		CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)
Japão	1978	2,700	0,40	0,50
EUA	1996	2,125	0,256	0,625
União Européia	2000	2,300	0,20	0,15
Brasil	2003	2,000	0,30	0,60

Fonte: Filizola (2005).

Observa-se, ainda de acordo com a Tabela 3.15, que a União Européia estabelece limites mais restritivos que os demais países para o CO, HC e NO_x. No Japão, os limites estão em vigor desde 1978, mas estão desatualizados quando comparados aos outros limites. No Brasil, os padrões de emissão são determinados por meio do ciclo utilizado nos EUA (FTP 75), o que faz os valores serem muito semelhantes aos dos norte-americanos.

Quanto à durabilidade dos níveis de emissão estabelecidos no Brasil e nos Estados Unidos, a exigência de uso é de 80 mil quilômetros; no Japão, exige-se 30 mil quilômetros e na União Européia, exige-se limites apenas para veículos novos.

3.5. VALORES REFERENCIAIS DE EMISSÃO VEICULAR DO BRASIL

Conforme visto no item 3.4, existem diferenças metodológicas para a determinação dos padrões de emissão veicular. As experiências internacionais, apresentadas no item 3.4, possuem seus próprios ciclos de condução e metodologias de cálculo das emissões veiculares, determinando uma diferença entre os valores calculados. Do mesmo modo, as próprias características da frota veicular e o combustível utilizado influenciam nesses valores.

No Brasil, a estimação das emissões veiculares existentes é baseada em modelos de emissão veicular, utilizando os padrões de emissão da CETESB, o qual não reflete a realidade das cidades brasileiras por ser modelos adaptados de uma realidade estrangeira. Osses *et al.* (2001), afirma que os modelos de emissão de gases emitidos por fontes móveis (veículos), em áreas urbanas, requerem informação detalhada a qual descreva a atividade do tráfego na área de estudo. Um adequado processamento dessa informação permite calcular as emissões associadas com a atividade do transporte, utilizando fatores de emissão que permitem conhecer a massa do poluente por quilômetro percorrido (g/km), a partir do tipo de veículo, e a velocidade média do percurso para as diferentes categorias veiculares.

Para a obtenção desses valores, Decicco e Thomas (1998) afirmam que as medições em laboratório das emissões veiculares possuem pouca relação com as emissões reais do veículo em uso, em função de diversos fatores, elevando os resultados médios de 2 a 4 vezes mais do que os valores nominais estabelecidos pelo padrão (g/km), dependendo do gás analisado (CO, HC ou NO_x).

No Brasil, não existem estudos que comprovem esta estimativa, por conseguinte, os valores de outras realidades não devem ser utilizados para tal, pois Faiz *et al.* (1996), afirmam que as emissões de gases dos veículos variam em função de alguns fatores como: características da frota e sua conservação, tipo do motor e tecnologia adotada, tipo e composição do combustível, sistema viário e o modo de operação do veículo. Essas diferenças podem invalidar estudos realizados com valores de outras realidades. Deste modo, é difícil estimar quanto os veículos estão realmente poluindo o ar, pois os valores,

para simular as emissões nas condições reais de operação, são baseados segundo a experiência internacional.

Nesse sentido, existem estudos que se aproximam mais da realidade e permitem, de acordo com a dinâmica das cidades, avaliações constantes do cenário urbano, como a metodologia desenvolvida por Vaz de Melo (2004), a qual permite medir a emissão de poluentes em %vol e quantificá-la em g/km, permitindo a realização dos ensaios em condições reais de operação do veículo (nas vias).

3.5.1. Metodologia desenvolvida por Vaz de Melo

A metodologia desenvolvida por Vaz de Melo (2004) permite determinar o nível de emissão de HC, CO, CO₂ e NO_x, expressos em grama de poluente emitido por quilômetro percorrido (g/km), nas condições reais de operação do veículo. Para isso, Vaz de Melo (2004) desenvolveu instrumentação específica, principalmente em relação a um sistema capaz de quantificar a vazão emitida pelo escapamento do veículo.

Dessa forma, Vaz de Melo (2004), por meio de um computador portátil (*notebook*), adaptou o funcionamento simultâneo e sincronizado dos três sistemas desenvolvidos, os que foram instalados no veículo, sendo estes:

- Sistema de análise de gases, capaz de aferir a composição do gás que sai pelo tubo de escapamento do veículo. Este sistema é composto unicamente por um analisador de gases *Eurotron* modelo *Greenline* 8000.
- Sistema de medição de vazão, responsável por mensurar a vazão de gás que sai pelo escapamento. Para isto, Vaz de Melo junto ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília – UnB, desenvolveu o projeto do tubo do tipo venturi, usinado em alumínio. O tubo venturi foi projetado para permitir sua adaptação no lugar do silencioso final do veículo, junto a ponteira do escapamento. Deste modo o equipamento é visível somente ao se olhar pela parte debaixo do veículo, não interferindo na operação do mesmo (Figura 3.2).

- Sistema de medição de deslocamento, que permite a obtenção da distância percorrida, velocidade instantânea e velocidade média. Aprimorando este sistema, Filizola (2005), utilizou para a leitura da velocidade instantânea e distância percorrida um GPS navegador Garmin modelo *e-trex*, conectado a um computador portátil.

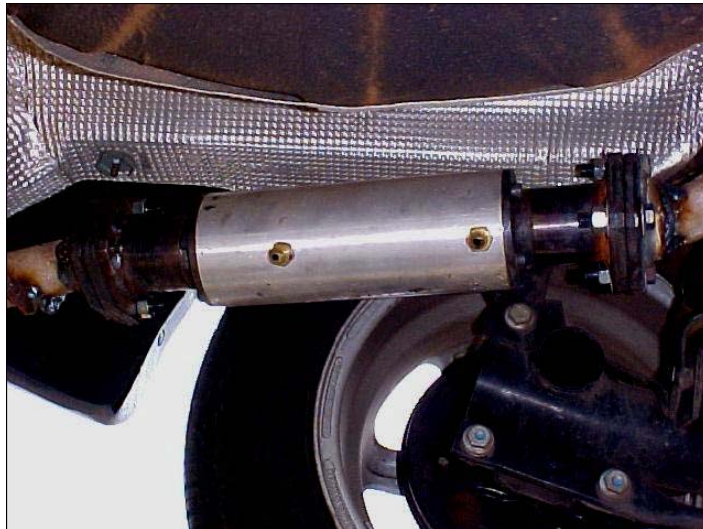


Figura 3.2 Venturi instalado no escapamento do veículo.

Fonte: Vaz de Melo (2004).

Dessa forma, Filizola (2005) aplicou e aprimorou os três sistemas desenvolvidos por Vaz de Melo (2004), para determinar a emissão de CO, HC, NO_x e CO₂. Estes sistemas funcionam em paralelo e são programados para realizarem a leitura dos dados a cada segundo. São conectados a um computador portátil (*notebook*), onde as leituras são armazenadas e posteriormente utilizadas para o cálculo das emissões médias em g/km. A disposição da instalação dos sistemas no veículo-teste, desenvolvida por Vaz de Melo e aplicada por Filizola (2005) é ilustrada na Figura 3.3.

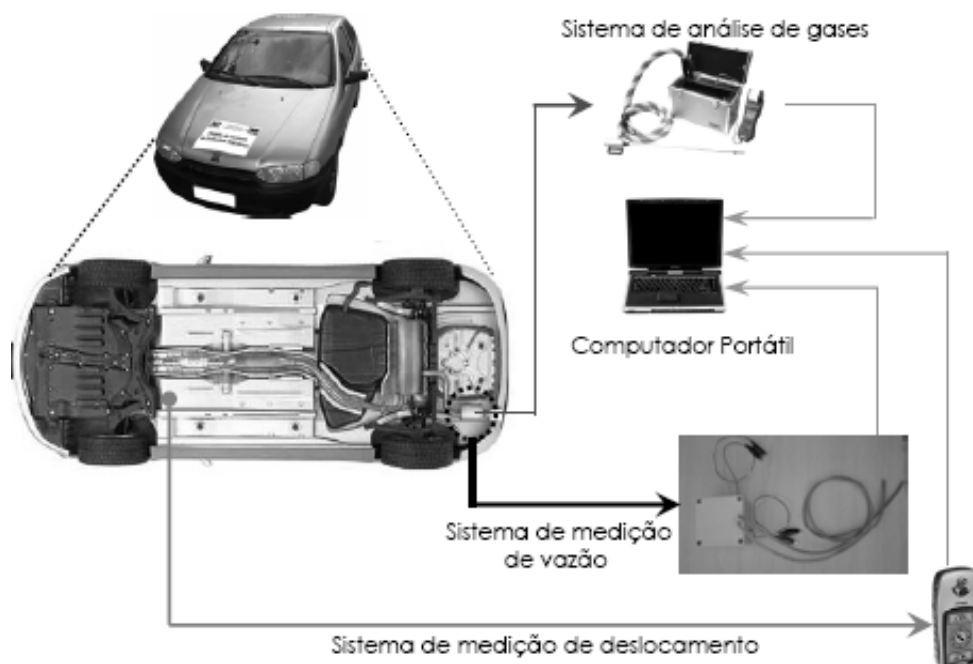


Figura 3.3 Disposição no veículo-teste dos sistemas utilizados.

Fonte: Filizola (2005)

Completado o ciclo de desenvolvimento dos sistemas para obter a leitura dos gases em massa por distância percorrida, Vaz de Melo (2004), desenvolveu uma metodologia específica para a realização dos ensaios nas condições reais de operação. Para isto, foi utilizada como referência a Norma NBR-6601, adequando-se o processo metodológico a ser utilizado. Este processo desenvolvido por Vaz de Melo é descrito a seguir:

- 1) Diagnóstico do veículo teste a ser utilizado, verificando o motor e a linha de descarga do escapamento quanto possíveis vazamentos, com o intuito de detectar problemas que poderiam influenciar o resultado dos ensaios.
- 2) Calibração e aferição dos equipamentos, garantindo que o erro das leituras seja o menor possível. Assim, devem ser calibrados os componentes do sistema de medição de vazão (calibração do venturi, ajustes no multímetro em relação ao medidor de pressão diferencial), calibração do analisador de gases e o sistema de deslocamento (GPS) a ser utilizado.
- 3) Instalação dos equipamentos, depois de checados e aferidos devem ser instalados os componentes dos sistemas no veículo, conforme se observa na Figura 3.3.
- 4) Execução de pré-teste, para verificar o funcionamento correto dos instrumentos.

Realizado este processo de instalação de equipamentos, pode ser dado início aos ensaios para medição das emissões pelo tubo de escapamento do veículo teste. Estes ensaios foram realizados por Vaz de Melo (2004), para a preparação dos ensaios foram seguidos os seguintes passos:

- Escolha da via e o trecho onde se realizará os ensaios, feita de acordo com a variável a ser estudada, como ciclo de condução, características da via, catalisador e modo de condução do veículo, velocidade, etc.
- Deslocamento ao local de partida pré-determinado.
- Reinício dos sistemas no local pré-determinado, efetuando a sincronização e programação para início e término das leituras.

Para a realização destes ensaios o veículo é conduzido em meio do fluxo de tráfego local, respeitando o código de trânsito vigente, segundo o proposto por Vaz de Melo (2004).

Realizados os ensaios aplicando a metodologia de Vaz de Melo (2004), se obtêm três bases de dados provenientes dos três sistemas de medição. Com isso, para obtenção dos valores em massa por distância percorrida (g/km), devem ser realizadas manipulações algébricas sobre as bases obtidas. Para entendimento dessas operações algébricas, recomenda-se verificar o trabalho realizado por Vaz de Melo (2004), no qual especifica o cálculo das emissões expressas em g/km.

3.5.2. Valores referenciais de emissão de HC, CO, CO₂ e NO_x obtidos por Filizola (2005)

Para obtenção dos valores referenciais de emissão de HC, CO, CO₂ e NO_x, Filizola (2005), aplicou e aprimorou a metodologia desenvolvida por Vaz de Melo (2004), descrita no anterior item. Filizola (2005) realizou os ensaios para aferir as emissões de um veículo operando em condições reais de operação, tendo como critério o veículo teste e os locais para a realização dos ensaios, processo descrito a seguir:

Para a realização dos ensaios, o veículo teste adotado nos ensaios foi um veículo leve (categoria automóvel, representando 79,81 % da frota nacional de veículos), compacto (34,59 % da frota) e a gasolina (81,39 % da frota), de acordo com ANFAVEA (2005),

FENABRAVE (2005) e DENATRAN (2005). A motorização de 1.6 litro foi adotada, levando em consideração o fato de Vaz de Melo (2004) ter utilizado um veículo 1.0 como objeto de estudo em seu trabalho.

Filizola (2005) realizou os ensaios com o veículo teste em condições reais de operação, com o motor pré-aquecido. Analisou o comportamento do veículo-teste em quatro estudos paramétricos, os que influenciam as emissões veiculares:

- 1) Ciclo de condução: foram concebidos quatro ciclos de condução que permitiram avaliar a influência do percurso e velocidade média nas emissões. Com os resultados obtidos se conseguiu inferir que, os padrões de emissão obtidos são totalmente dependentes do tipo do ciclo de condução utilizado, e, se um veículo percorre um trecho com velocidades baixas, acelerando e desacelerando constantemente, caracterizando condições desfavoráveis ao tráfego, terá suas emissões aumentadas entre 2 a 5 vezes, dependendo do gás analisado.
- 2) Via: estimaram-se as emissões em função das características do tipo de via, classificadas de acordo com o Sistema Viário Nacional na modalidade rodoviária, sendo via expressa primária, arterial primária, arterial secundária comercial e arterial local. Este parâmetro permitiu inferir que, em vias com fluxo instável apresentam emissões de 2 a 21 vezes maiores, que em vias com fluxo ininterrupto, com boa fluidez de tráfego (características típicas de vias expressas), dependendo do gás analisado.
- 3) Modo de condução do veículo: caracterizou-se dos perfis de condutores, um primeiro denominado “condutor defensivo” que conduz mantendo velocidades estáveis, obedecendo aos limites da velocidade da via, com acelerações e desacelerações suaves; e um segundo denominado “condutor agressivo” que dirigisse mantendo velocidades elevadas, com acelerações e desacelerações bruscas. Os resultados permitiram inferir que, deve ser esperado um acréscimo entre 1,8 e 3,4 vezes nas emissões veiculares na mudança de um modo de condução defensivo para o agressivo, segundo o poluente analisado.
- 4) Funcionalidade do catalisador: considerou-se a emissão quando o catalisador é antigo (a quilometragem é superior 80 mil km, vida útil estabelecida por PROCONVE), quando o

veículo teste utiliza o catalisador novo (original de fábrica) e quando não utiliza catalisador. Com os resultados do ensaio inferiu-se que, um veículo sem catalisador tem as emissões fortemente aumentadas quando comparado a um veículo com catalisador novo, esperando acréscimos entre 3,9 e 29 vezes nas emissões de poluentes, de acordo com o poluente analisado.

3.5.3. Determinação dos valores referenciais

Para determinar os valores referenciais de emissão de poluentes Filizola (2005), avaliou os resultados dos ensaios, compreendidos de um desvio em torno de um valor médio (índices médios de emissão para cada poluente). Dessa forma, todos os índices médios de emissão obtidos durante os ensaios, mais os obtidos por Vaz de Melo (2004), utilizaram-se para compor os cenários que representariam grande parte da frota brasileira (veículos leves 1000 e compactos com 64,82% da frota nacional de veículos).

Na determinação dos valores referenciais de emissão de poluentes, foi utilizada a estatística descritiva, obtendo um valor médio a partir da amostra dos ensaios realizados. O valor médio do intervalo foi utilizado para compor os cenários denominados: normal, pessimista e otimista. O cenário otimista refere-se a uma situação que considera veículos novos, em bom estado de conservação e boas condições de tráfego. O cenário pessimista considera veículos antigos, com má conservação e condições adversas de circulação nas vias. O cenário normal considera uma situação intermediária entre os dois primeiros cenários considerados (Filizola, 2005). Dessa forma, como se apresenta na Tabela 3.16, obtiveram-se valores referenciais do nível de emissão de CO, NO_x, HC, (gases regulamentados pelo PROCONVE) e CO₂, para veículos automotores leves do ciclo Otto.

Tabela 3.16 Valores referenciais de emissão de gases para veículos automotores leves do ciclo Otto.

	CO (g/km)	CO₂ (g/km)	NO_x (g/km)	HC (g/km)
Cenário otimista	1,16	70,27	0,10	3,39
Cenário normal	2,00	112,36	0,21	4,54
Cenário pessimista	2,83	154,45	0,32	5,69

Fonte: Filizola (2005).

Realizando uma comparação dos valores obtidos por Filizola (2005) e os padrões obtidos pelas experiências internacionais estudadas no item 3.4, conforme a Tabela 3.17, pode-se observar que os valores referenciais para o CO e NO_x do cenário normal estão na mesma escala de grandeza dos limites impostos pelo PROCONVE, variando entre 6,7 e 200,0 %. Para o HC os resultados são em torno de 10 vezes (ou 900 %) maiores do que aqueles estabelecidos pela legislação brasileira.

Tabela 3.17 Comparação dos valores referenciais com os padrões de emissão.

Origem	Limites		
	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)
Japão	2,70	0,40	0,50
EUA	2,12	0,25	0,25
União Europeia	1,00	0,10	0,08
Brasil	2,00	0,30	0,25
Cenário otimista	1,16	3,39	0,10
Cenário normal	2,00	4,54	0,21
Cenário pessimista	2,83	5,69	0,32

Fonte: Filizola (2005).

Nos valores do CO, nota-se que o cenário normal está nivelado com os demais padrões. No caso do NO_x, observa-se que o cenário normal está próximo aos padrões brasileiro e norte-americano e bem acima do rigoroso padrão estabelecido na União Européia.

Para o HC, observa-se que os resultados para os cenários estão em uma ordem de grandeza acima, em torno de 10 vezes, estes valores foram obtidos, tanto na pesquisa realizada por Vaz de Melo (2004) como a pesquisa de Filizola (2004). Dessa forma, Filizola (2005) conclui que as emissões de HC em g/km, nas condições reais de operação, guardam pouca semelhança com os valores obtidos em laboratório, recomendando a se realizar análises mais aprofundadas sobre esta questão. Por esse motivo, o presente trabalho não utilizará os valores referenciais de emissão do HC.

No entanto, não se devem realizar comparações diretas entre os diversos padrões de emissão de outros países e os valores referenciais obtidos no estudo de Filizola (2005), pois as condições na realização dos ensaios são diferentes. Entretanto, se utilizarmos esses valores como Fatores de Emissão para uso em simulações, poderá se detectar as diferenças

que existirão entre um estudo que utiliza valores estrangeiros e outro que utiliza valores oriundos da realidade brasileira (Filizola, 2005).

Nesse sentido, esta pesquisa propõe utilizar os valores referenciais de emissão de CO, NO_x, obtidos por Filizola (2005), para determinar a emissão veicular nas áreas urbanas, por serem valores os quais simulam a dinâmica das cidades brasileiras. Como visto, foram avaliados os fatores de emissão que influenciam nas emissões, baixo condições reais de operação no fluxo de tráfego de qualquer cidade brasileira, o que facilita sua aplicação.

3.6. TÓPICOS CONCLUSIVOS

Diferentes países têm mostrado preocupação frente à importância no controle da poluição do ar. Conseqüentemente, esforços têm sido desenvolvidos para o estabelecimento de Padrões de Qualidade do Ar e Padrões de Emissão Veicular na tentativa de fixar limites que contribuam na redução da emissão dos poluentes.

Dos diversos estudos apresentados, observa-se a importância do estabelecimento de níveis de referência para diferenciar o ar poluído daquele não poluído. A divulgação é necessária para conscientizar e informar a população, para se obter um maior controle das emissões e seus efeitos negativos para a própria população.

No relacionado com os padrões de emissão, pode concluir-se que é possível obter valores referenciais de emissão a partir de dados coletados nas condições reais de operação. Estes valores podem representar, de forma fidedigna, o comportamento e variação das emissões reais dos veículos, obtendo resultados mais próximos da realidade das cidades brasileiras; o que permitirá ao planejador realizar simulações sobre cenários diversos para projeção da poluição veicular em uma determinada via ou região.

Nos padrões de emissão veicular, os valores são expressos em g/km, permitindo saber o quanto um veículo polui. Embora existam diversas metodologias para estimar valores dos padrões de emissão veicular, ainda é necessário conhecer como estão distribuídos esses padrões no espaço e no tempo, e que representem a realidade e a dinâmica das cidades, principalmente para o acompanhamento e determinação de ações preventivas e corretivas das áreas atingidas, ou em risco de degradação pelos altos níveis de emissão.

Contudo, a experiência internacional no gerenciamento da qualidade do ar pondera que seja essencial a obtenção e avaliação dos níveis de emissão assim como sua representação espacial por meio de ferramentas de suporte para análise espacial dos dados de emissão. No capítulo a seguir, serão apresentadas diversas metodologias para estimar e representar espacialmente os níveis de emissão veicular.

4. ESTADO DA ARTE SOBRE REPRESENTAÇÃO, ANÁLISE E MODELAGEM ESPACIAL DA POLUIÇÃO DO AR, UTILIZANDO OS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

4.1. APRESENTAÇÃO

A emissão de poluentes proveniente do transporte é a principal fonte de poluição do ar nos centros urbanos. Como apresentado no capítulo anterior, a mitigação da poluição do ar, por meio de medidas de controle, tais como os padrões de qualidade do ar e os padrões de emissão, permitem a redução dos seus efeitos no meio ambiente e na sociedade.

No caso das emissões veiculares, na busca por medidas de controle, é necessário identificar o grau da poluição gerada pelo tráfego nas áreas em estudo, sendo possível por meio da avaliação da qualidade do ar. Essa avaliação, muitas vezes realizada por meio da gestão ambiental, depende fortemente das condições sócio-ambientais e, principalmente, da caracterização espacial da poluição do ar. As experiências no gerenciamento da qualidade do ar priorizam a obtenção dos níveis de emissão veicular, sua representação, análise e modelagem espacial, por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

As ferramentas presentes nos SIG estão sendo utilizadas para gerenciar e reportar uma vasta quantidade de informações ambientais utilizadas pelos planejadores urbanos. Nesse sentido, o objetivo do presente capítulo é apresentar e caracterizar os diversos estudos que se utilizam dos SIG para avaliar as emissões do tráfego veicular na poluição do ar, por meio da sua representação e modelagem espacial.

4.2. REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DE DADOS DE POLUIÇÃO DO AR NOS SIG

São várias as definições as quais descrevem as capacidades dos SIG para resolver uma grande variedade de problemas meio ambientais, relacionadas com as áreas urbanas. Uma definição que descreve de forma geral os SIG foi apresentada por Burrough e McDonnell (1998). O autor considera os SIG como sendo um poderoso conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados espaciais do mundo real para um conjunto estabelecido de propósitos. Dantas *et al.* (1996) define o SIG como a

integração entre Banco de Dados, Recursos Humanos, *Hardware* adequado e um ferramental para Análise Espacial. Sendo este ferramental o que propriamente diferencia um SIG de um Sistema de Informações convencional e que possibilita a obtenção de novas informações, dentre elas, as relacionadas com a qualidade do ar.

A qualidade do ar em si e por si é espacial. A formação, dispersão e os efeitos das emissões relacionados ao transporte são espacialmente e temporalmente dependentes. O uso do SIG é bem adequado para realizar análises da qualidade do ar, pois possibilita gerenciar (operar e armazenar), sintetizar, visualizar, modelar e realizar análises espaciais das relações complexas existentes entre o transporte e a qualidade urbana do ar. Essas potencialidades dos SIG estão sendo exploradas, auxiliando os planejadores, engenheiros e pesquisadores na quantificação e análise espaço-temporal das emissões veiculares (Easa e Chan, 1999).

Conforme apresentado no capítulo 2, existem três fontes de poluição atmosférica: as fontes naturais, as estacionárias e as móveis. Portanto, a representação espacial no SIG das fontes e dos dados das emissões é segundo o tipo de estudo da poluição a ser realizado. Por exemplo, a localização da fonte estacionária é representada por ponto, mas quando se trata de representar a concentração e/ou dispersão é possível que seja utilizada a superfície/área. Considerando isso, na Tabela 4.1, é apresentado especificamente a forma de representação espacial no SIG das fontes de poluição e as características das emissões.

Tabela 4.1 Representação espacial nos SIG das fontes de poluição do ar.

FONTE DE POLUIÇÃO DO AR	REPRESENTAÇÃO ESPACIAL		CARACTERÍSTICAS DAS EMISSÕES
Fontes Estacionárias	Ponto	Cada fonte é denotada pontualmente no mapa por sua localização espacial; os atributos da emissão são alocados apenas nestes pontos.	Emissões de fontes estacionárias, tais como indústrias, incineradores, etc., caracterizadas por serem emissões pontuais, geralmente, medidas por estações de monitoramento. A representação no SIG permite o estudo da concentração pontual dos poluentes emitidos.
Fontes Móveis	Linha (Rede)	Quando o objeto espacial a ser representado é o fluxo veicular, este é analisado como um fenômeno ou objeto linear.	Emissões originadas pelo tráfego veicular e cuja representação espacial no SIG pode ser em vias, trechos de via, entre outros.
Fontes Naturais, Estacionárias, Móveis e Reações Químicas na Atmosfera	Área	Trabalha-se com os valores das emissões agregadas em sub-áreas definidas, dentro do espaço total, em polígonos regulares ou não (ex. setores censitários, zonas de tráfego, áreas de vulnerabilidade, etc.)	Emissões ao ar aberto, tais como atividades vulcânicas, queimadas florestais, incêndios em áreas urbanas, serviços públicos ou privados, atividades agrícolas, reações químicas (ex: HC + NO _x), etc. Este tipo de representação espacial em área é considerado de forma prioritária em estudos de exposição da população e das áreas de influência dos poluentes emitidos.
Fontes Naturais, Estacionárias, Móveis e Reações Químicas na Atmosfera	Superfície	A emissão é estudada de forma contínua ao longo de todo o espaço considerado e, para cada coordenada no espaço, é determinado um valor para os atributos da emissão.	Emissões pelas diversas fontes; o estudo principal é a dispersão e concentração dos poluentes, geralmente, utilizados para estudos de exposição humana. A representação espacial no SIG utiliza a estatística espacial para a geração das superfícies (interpolação espacial, <i>krigagem</i> , etc.).

Em geral, a representação das emissões de poluentes no ar é realizada por meio de mapas temáticos de emissões e/ou das concentrações. Tais representações partem de um inventário das emissões, móveis ou estacionárias, georeferenciadas por ponto, linha ou agregada por área. A agregação e representação espacial dos dados de poluição no SIG são realizadas em forma vetorial ou matricial, estabelecendo-se um limite do tamanho de significância de representação (área de representação ou de influência). No caso da representação espacial na forma de superfície, mostra-se a concentração dos poluentes e sua variação no espaço. Todavia, as técnicas para representação da variação dos padrões de dispersão espacial da poluição variam desde técnicas de interpolação (global ou local) até técnicas de *krigagem* (Patil *et al*, 2003).

Embora existam técnicas para representação espaço-temporal dos poluentes, existe uma fase anterior que está relacionada com a modelagem dos dados para representação espacial.

Esses modelos dependem da entrada de vários tipos de dados, tais como dados meteorológicos, dados de qualidade do ar (padrões de emissão), dados dos receptores, dados das fontes de emissão (localização, características), dados descritivos (estação, instrumentos de medida, etc.). Dessa forma, para se modelar as emissões, existem modelos de diversas complexidade e representatividade, como os especificados a seguir:

- **Modelos de Emissão:** aplicadas especialmente para emissões veiculares, representados na forma de pontos e/ou linhas;
- **Modelos de Dispersão:** utilizam as condições climáticas tais como umidade, precipitação, topografia, etc. Existem diversos modelos matemáticos os quais determinam a concentração de poluentes em função das características de dispersão, tais como o modelo de Gauss (Moreira e Tirabassi, 2004);
- **Modelos de Previsão:** utilizam como parâmetros de entrada dados meteorológicos. Permitem prever a emissão ou concentração dos poluentes em um determinado tempo e espaço;
- **Modelos de Exposição:** consideram a dispersão de poluentes baseado nas fontes de ponto e de linha, permitindo o cálculo das concentrações dos mesmos, o que permite avaliar a exposição humana e o efeito no meio urbano construído.

Todavia, é bom esclarecer que os processos os quais governam a difusão dos poluentes são numerosos e de complexa representação, razão pela qual não será realizada análise exaustiva desse aspecto no presente capítulo. Entretanto, no seguinte item procura-se explorar as potencialidades de uso de um instrumento interpretativo e de análise, como o SIG, capaz de mostrar e relacionar no espaço e no tempo a causa (fonte) da poluição com os efeitos no meio ambiente (concentração do poluente).

4.3. APLICAÇÕES DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NA POLUIÇÃO DO AR

Das experiências pesquisadas de utilização dos SIG e poluição do ar, observa-se que, internacionalmente, são vários os estudos e esforços realizados para explorar e utilizar as potencialidades dessa ferramenta. Já no Brasil, estudos que integram os SIG e poluição atmosférica provenientes do tráfego viário ainda são quase inexistentes, o qual impossibilita seu uso como ferramenta de apoio à decisão. Possivelmente, esses fatos estejam acontecendo pela falta de estudos mais detalhados a respeito da distribuição de emissões veiculares nos centros urbanos brasileiros, ou por deficiências na aquisição de dados relativos tanto ao comportamento do tráfego urbano, quanto à existência de padrões de emissão (condizentes com a realidade brasileira) para avaliação da qualidade do ar (Ribeiro e Dominguez, 2005).

Para avaliar a qualidade do ar ou as emissões veiculares urbanas, os SIG apresentam diversas aplicações as quais podem ser utilizadas conforme as necessidades dos planejadores, gerando vários níveis de abordagens de diversas complexidades. Algumas abordagens utilizam o SIG somente para gerenciar os dados de entrada dos modelos de qualidade do ar e para desenvolvimento de inventários ambientais. Outras apresentam o desenvolvimento de modelos sofisticados que capitalizam as funcionalidades do SIG.

Assim, no presente item, para uma melhor compreensão do uso dos SIG na avaliação da poluição do ar, as diversas pesquisas levantadas foram agregadas seguindo quatro níveis de abordagens, e conforme salientado por Easa e Chang (1999). Nessas abordagens, procura-se explicar os diferentes níveis de integração do SIG na avaliação ambiental da qualidade do ar. Esses diferentes níveis variam desde o uso de ferramentas de gerenciamento de bases de dados e atributos espaciais, até aplicações de sofisticadas modelagens ambientais utilizando os SIG.

Os diferentes níveis de integração propostos por Easa e Chang (1999), apresentados na Figura 4.1 e adaptados segundo as necessidades da presente dissertação, permitem distinguir que conforme ascendemos na pirâmide, o nível de sofisticação aumenta. Muitos dos diferentes tipos de integração do SIG e avaliações de qualidade do ar são utilizados

individualmente ou em diferentes combinações, conforme as necessidades dos planejadores e pesquisadores.

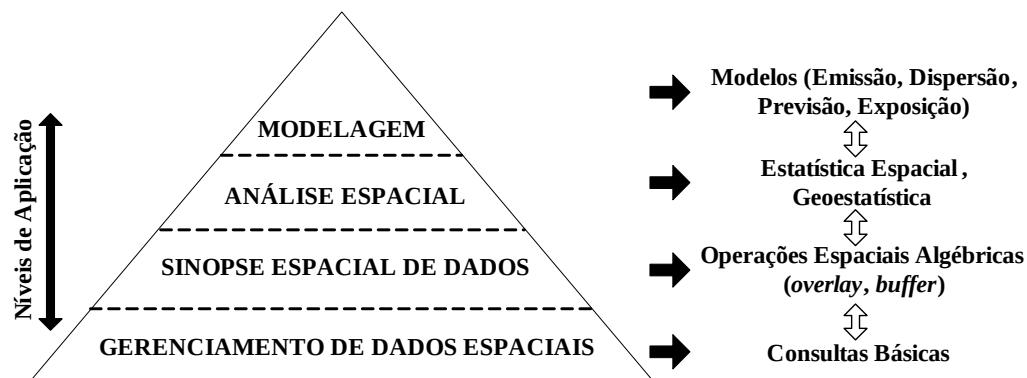


Figura 4.1 Níveis de integração no SIG.

Fonte: Modificado, Easa e Chan (1999).

4.3.1. Gerenciamento de dados espaciais

O gerenciamento de dados espaciais inclui o nível básico de uso e integração de SIG para entrada, recuperação e exibição de dados relacionados com a qualidade do ar, tais como a localização das fontes de poluição e das estações de monitoramento. A maior proporção das aplicações para avaliação da qualidade do ar utilizando SIG pára neste nível. Frequentemente não tem como finalidade análises aprofundadas e aplicações de modelagem, embora as ferramentas do SIG sejam utilizadas para armazenar e manter uma plataforma de dados e seus atributos espaciais.

- **Inventário de emissões e observações temporais**

Dentre algumas das aplicações, temos a Souleyrette *et al.* (1992), Bruckman *et al.* (1992), Medina *et al.* (1994), que realizaram diversas pesquisas no desenvolvimento de aplicativos SIG para transporte e análise da qualidade do ar e inventários de emissões. Sikdar, (2001) na Índia, utilizou SIG, aplicado à poluição do ar, para realizar observações temporais de curto prazo (de hora em hora) dos dados de poluição do ar. A pesquisa demonstrou a utilidade do SIG no desenvolvimento do transporte e planejamento da gestão do tráfego.

- **Distribuição espacial da poluição atmosférica: estudo de uma rede de transporte público de Porto Alegre**

Ribeiro e Dominguez (2005) apresentam uma estimativa de emissões veiculares produzidas por uma rede de transporte público, situados na zona central e norte de Porto Alegre (Brasil). Por meio de um SIG, integram-se valores de emissões de poluentes, obtidos pela aplicação de formulação numérica de um modelo desenvolvido pelo estudo do IPEA/ANTP (1997). O SIG é utilizado para integrar a base digital do mapa viário e os resultados dos cálculos da planilha eletrônica, possibilitando a inserção de novos itens no banco de dados vinculado ao mapa. As informações, associadas a um único objeto espacial (linha de ônibus), permitiram a elaboração de mapas temáticos, onde foi possível visualizar espacialmente os valores das emissões de poluentes associados com a rede de transporte público. O SIG é utilizado como uma interface gráfica para auxiliar na compreensão da distribuição espacial das emissões atmosféricas, facilitando a tomada de decisões para o planejamento urbano.

4.3.2. Sinopse espacial de dados

Alguns usuários de SIG fazem uma distinção entre sinopse espacial de dados de poluição e análise espacial de tais dados. Nesta seção, a sinopse espacial de dados se refere às funções básicas para recuperação seletiva de informação espacial, tendente a favorecer sua visão global dentro de áreas definidas de interesse. Essa sinopse envolve o mapeamento espacial de informações, cálculo, tabulação e elaboração de relatórios estatísticos básicos. Os tipos de operações, dentro desta categoria, incluem: operações espaciais básicas (consultas e agregação espacial), *overlay* geográfico (sobreposição de mapas, considerando interseção de linhas, ponto dentro de polígono, linha dentro de polígono e *overlay* de polígono) e a criação de *buffers* (ou áreas de influência). Maiores esclarecimentos dessas operações espaciais básicas podem ser consultadas em Chou (1996).

Entre os principais estudos, destacam-se:

- **Estrutura integrada para visualização temporal**

Clarmunt *et al.* (2000) desenvolveram uma estrutura integrada no SIG para análise e visualização em tempo real de dados de tráfego urbano. A estrutura está baseada na interação ativa entre o espaço-tempo do banco de dados e mapas de visualização acessados pelo usuário. Em similar abordagem, Ziliaskopoulous e Waller (2000) desenvolveram um sistema de internet baseada em SIG, a qual reúne dados espaço-temporais, modelos e usuários em uma única estrutura eficiente para ser usado em uma gama extensiva de aplicações no transporte.

- **Mapeamento de áreas vulneráveis à poluição do ar causado pelo tráfego urbano**

Uma metodologia para avaliar a qualidade do ar devido ao tráfego, em uma área urbana, é desenvolvida por Mavroulidou *et al.* (2004). A metodologia consta de um mapeamento das áreas vulneráveis à poluição do ar causado pelo tráfego viário em Londres (Inglaterra). Para isso, é montada uma matriz que integra um sistema de fatores calculados por modelos numéricos, identifica os parâmetros principais e quantifica as interações entre esses. Os fatores que compõem a matriz são os níveis de tráfego, ventos, rugosidade da superfície trafegável, topografia, edificações, qualidade do ar. Os resultados obtidos pela matriz foram aplicados no SIG, utilizando a ferramenta *overlay* e determinando os pontos mais vulneráveis. O mapa de vulnerabilidade compara-se com padrões de concentração de poluentes obtidos de um modelo de dispersão. A metodologia permitiu a interpretação visual dos resultados como um importante instrumento de suporte de decisões para as autoridades locais, pois facilitou a comunicação entre os não-especialistas no assunto (políticos, planejadores e população local) e os técnicos.

- **Estimativa das emissões de poluentes dos automóveis na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), considerando as rotas de tráfego**

Landmann (2004) desenvolveu uma metodologia para estimar as emissões de poluentes dos automóveis na RMSP, a partir das rotas de tráfego, e obter uma melhor distribuição das emissões, considerando as diferenças intra-regionais e intra-urbanas. Para isso, o autor mostra como vinham sendo obtidos os dados das emissões veiculares na RMSP pela utilização do modelo de dispersão de poluentes atmosféricos CIT (*Californian Institute of*

Technology). Por meio desse modelo, os dados referentes às emissões são calculados em termos de unidade de massa por unidade de tempo (gramas/hora), por unidade de área (grade), para serem inseridos no modelo CIT. A região metropolitana é dividida em uma grade (*grid*) composta por quadrados de 25km x 25km ou com 9km x 9km de área, e as emissões de cada um dos poluentes (CO, NOx, HC, entre outros) são expressas em termos de gramas/hora para cada hora do dia, para cada quadrado da grade. Partindo do pressuposto que os resultados da simulação são mais realistas quando consideradas as diferenças correspondentes aos carregamentos de tráfego na malha viária do que quando se considera as emissões homogeneamente distribuídas. O autor utiliza os carregamentos de tráfego, na malha viária, calculados segundo o *software* de simulação e planejamento de transportes EMME/2 (*Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium*). Nesse *software*, a RMSP é dividida em grades de 5km x 5km e sobreposta sobre a malha viária, representando dessa maneira as emissões de CO, HC e NOx. A comparação dos resultados da simulação obtidos com o CIT e o EMME/2 mostrou que as emissões correspondentes aos carregamentos de tráfego são mais representativas.

4.3.3. Análise Espacial

O terceiro nível de integração entre SIG e avaliação da qualidade do ar é utilizando SIG como instrumento da análise espacial, para identificar padrões dentro e entre os dados espaciais. Na maioria dos casos, essas técnicas são limitadas aos aspectos de pesquisas para avaliação da qualidade do ar, não sendo requeridas correntemente para estabelecer abordagens de confirmação e inventário de modelagem ambiental. Os métodos da análise espacial podem ser puramente determinísticos ou podem adicionar uma natureza estocástica inerente aos padrões e seus relacionamentos (Easa e Chan, 1999). As técnicas de análise determinístico clássico estão entre as mais importantes utilizadas no SIG para análise das aplicações em transporte. São exemplos: análise de redes, roteamento, modelagem de localização/alocação, modelagem e projeção em 3-D, e álgebra cartográfica. A análise estatística espacial inclui autocorrelação espacial, a qual procura explorar a estrutura da covariância espacial nos atributos dos dados. A geoestatística e modelagem espacial econométrica têm sido ligadas às funcionalidades do SIG, mas pouco tem sido realizado com relação à avaliação da qualidade do ar (Easa e Chan, 1999).

- **Modelos de dispersão de fontes móveis**

Briggs *et al.* (2000) apresentam uma gama extensiva de modelos de dispersão de fontes móveis (representados na via) que podem ser utilizados para mapeamento da poluição. Concluem que, em geral, o desempenho de modelos de fonte linear (incluindo o modelo de dispersão Gaussiano) nem sempre foi bom quanto à representação das características urbanas. Sugerem a realização da técnica de regressão espacial no SIG para mapear e modelar padrões espaciais de tráfego relacionados com a poluição do ar e assim avaliar a exposição da população como parte de estudos epidemiológicos.

- **Exposição da população a poluentes veiculares**

Jensen *et al.* (2001) e Kousa *et al.* (2002) descreveram o desenvolvimento de modelos matemáticos para determinar e avaliar as exposições da população aos vários poluentes do ar em áreas urbanas. Nestes modelos, a estrutura do SIG possibilitou o mapeamento temporal e espacial das emissões de tráfego, os níveis de qualidade de ar e a exposição da população aos poluentes veiculares.

- **Análise da vulnerabilidade ambiental utilizando funções *overlay***

Li *et al.* (1999) desenvolveram uma metodologia que usa funções *overlay* e uma matriz de comparações integrados na estrutura SIG para analisar a vulnerabilidade ambiental de Nanjing (China) e avaliar o impacto ambiental da principal via da cidade. O método de sobreposição de mapas é formado por nove etapas como apresentado na Figura 4.2.

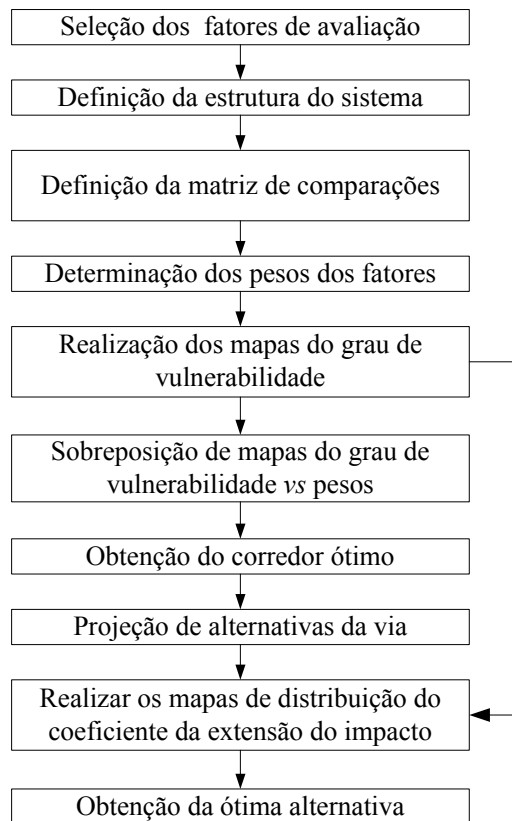


Figura 4.2 Processo de avaliação ambiental baseado em SIG (*overlay*).

Fonte: Li *et al.* (1999).

A seleção dos fatores de avaliação foi baseada nos possíveis impactos ambientais da via, tais como fatores sociais (usos de solo, utilização de recursos, infra-estrutura, etc.); fatores ecológicos (animais, plantas, água, etc.); fatores da poluição do ar (CO, NO_x, MP) e poluição sonora. Os fatores de avaliação são determinados para diferentes vias, com isso é criada a matriz de comparações que relaciona os vários fatores com as condições da via em construção e operação para determinar o impacto ambiental. A comparação dos fatores da matriz foi realizada por métodos matemáticos.

Na geração de mapas, definiu-se a área de estudo determinando o grau de vulnerabilidade de cada fator. Os atributos no mapa são determinados por áreas (polígonos) digitalizadas, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, fotografias aéreas e ferramentas do *software* ArcInfo®. A vulnerabilidade é estabelecida por grau, variando de pequeno, moderado a grande impacto. As alternativas de impacto ambiental permitem analisar as vias em função da vulnerabilidade, obtendo-se a via ótima. A extensão do impacto na via é um coeficiente calculado em função da largura e seção da via. Assume-se que o coeficiente de maior valor

está no centro da via e que a cada fator avaliado corresponde a um coeficiente. Uma vez calculados os coeficientes, são representados os mapas temáticos de impacto ambiental para cada fator. Com isso, é selecionada a melhor alternativa da via que não gera um grande impacto ambiental. Ressalta-se que, na avaliação do fator de poluição do ar, consideraram-se o tipo de veículo (tamanho, peso, largura), o volume e velocidade do tráfego, a velocidade e direção do vento.

- **Emissões veiculares horárias em rodovias.**

Os pesquisadores Mensink *et al.* (2000) desenvolveram um modelo detalhado que prevê emissões de hora em hora para CO, NO_x, SO₂ e MP em vias e trechos de via (com abrangência de 20km x 20km) da cidade de Antuérpia (Bélgica). A metodologia calcula as emissões horárias em função do tipo de via, tipo de veículo, tipo de combustível, volume de tráfego, idade de veículo, distribuição de viagens e temperatura do ambiente. Os volumes de tráfego são derivados de um modelo de fluxo de tráfego urbano, o qual contém uma rede com quase 2000 trechos de via. O modelo de fluxo de tráfego utilizado foi implementado no ambiente SIG. Os fatores de emissão são derivados do modelo COPERT-II, sendo incluídas as emissões de partida em frio e perdas por evaporação. Os resultados das emissões de CO, NO_x são mostrados de hora em hora para partida a quente e partida a frio. Para esses poluentes, uma validação parcial dos resultados foi levada a cabo, comparando a emissão do modelo COPERT-II e os fatores de emissões do tráfego levantados na via.

- **Sistema ambiental de apoio à decisão para monitoramento da poluição do ar**

Esta pesquisa, realizada no Tehran (Irã), apresenta o processo de definição e desenvolvimento de um SIG temporal para gestão ambiental (Rahmatizadeh *et al.*, 2002). O objetivo da pesquisa foi avaliar a dispersão espacial dos poluentes CO, NO₂, SO₂ e MP, originados por fontes estacionárias. Na metodologia, considerou-se a utilização de correlação espacial e distribuição das fontes estacionárias (fábricas) para determinar o impacto da poluição ambiental. Nas análises espaciais e estatísticas, foram utilizados dados horários, diários e mensais coletados em sete estações de monitoramento da qualidade de ar distribuídas na cidade.

Usando os *softwares* ArcView® e ArcInfo®, foi elaborado o mapa digital da cidade e realizada uma análise espacial por meio de *overlay*, criação de *buffers* e divisão de zonas para apoiar um sistema de alerta ambiental. Os resultados da análise mostraram que o sistema desenvolvido, como um sistema de apoio de decisão ambiental (*Environment Decision Support Systems – EDSS*), pode ser usado efetivamente na gestão e monitoramento dos poluentes. Foram determinados os padrões de qualidade do ar: bom, moderado, insalubre, muito insalubre e lugares de perigo. Foi utilizado o diagrama de *Voronoi* para representar a dispersão espacial das estações e a área de influência da área monitorada no Tehran.

4.3.4. Modelagem

O quarto e maior nível de uso do SIG é quando o gerenciamento de dados, sinopse, e funcionalidades de análise espacial são combinados em uma aplicação para modelagem da poluição do ar. Essa aplicação pode ser utilizada para responder questões de como identificar impactos gerados pelo tráfego para diferentes cenários de uso do solo, ou prever a qualidade do ar para uma situação crítica (Easa e Chan, 1999). Dentre as aplicações que se enquadram nesse nível de uso têm-se:

- **Integração de modelos e representação em formato *grid***

Namdeo *et al.* (2002) descrevem o desenvolvimento e aplicação do *software* TEMMS (*Traffic Emission Modeling and Mapping Suite*), o qual facilita a integração de transporte, emissão e modelos de dispersão. O TEMMS foi desenvolvido para apoiar às autoridades urbanas na prevenção e gestão da qualidade do ar. No *software*, o modelo ROADFAC permite calcular a emissão de uma frota veicular, enquanto o cálculo da emissão da fonte móvel é realizado pelo SATURN (*Simulation and Assignment of Traffic to Urban Road Networks*), contribuindo no modelo de dispersão (*Urban or Airviro – ADMS*). Esses diferentes modelos foram integrados no *software* de SIG MapInfo®, possibilitando a ligação de modelos e mapas do fluxo de veículos e da representação das emissões e da qualidade do ar em formato *grid*.

- **Níveis de exposição da população às emissões veiculares**

Sengupta *et al.* (1996), em Bombaim (Índia), desenvolveram uma metodologia que relaciona a distribuição espacial da população em centros urbanos com a qualidade do ar. Assim, estimam-se níveis de exposição humana à poluição atmosférica e de áreas onde há um maior risco à saúde. A visualização combinada destes dois elementos, população e poluição do ar, permitem a criação de estratégias de mitigação dos problemas sócio-ambientais. Estudos que avaliaram a exposição da população às emissões veiculares, utilizando uma metodologia semelhante, também foram desenvolvidos na Dinamarca por Jensen (1998) e Jensen *et al.* (2001).

- **Avaliação dos impactos ambientais do tráfego perante a construção de uma nova estrada**

Moragues e Alcaide (1996) desenvolveram uma metodologia para avaliar os impactos derivados da construção de uma seção nova de estrada, originando a redistribuição do tráfego na cidade de Madrid (Espanha). O uso do SIG, como ferramenta de análise de cenários, possibilitou avaliar e localizar os efeitos do tráfego antes e depois que a infraestrutura nova entrara em serviço. A informação do tráfego foi utilizada como dado básico para desenhar o mapa de poluição, simulando-se um dia típico sem mudanças climáticas. No modelo escolhido, utilizaram-se vários parâmetros para calcular as concentrações de poluente ao nível do terreno. O mapa de poluição foi cruzado com os mapas típicos para localizar e quantificar a população afetada pelos diferentes níveis de poluição, assim como a fauna selvagem e as áreas arqueológicas. A utilização da metodologia integrada ao SIG permitiu localizar automaticamente as mudanças ambientais, provando ser o SIG uma ferramenta efetiva para avaliação de impactos ambientais.

- **Previsão e avaliação da poluição do ar produzido pelo tráfego em áreas urbanas**

Gualtieri e Tartaglia (1998) apresentaram uma metodologia que utiliza um modelo para previsão e avaliação da poluição do ar causada pelo tráfego em áreas urbanas, aplicada na cidade de Firenze (Itália). O objetivo foi integrar o uso de modelos matemáticos de emissões e dispersões de poluentes atmosféricos: CO, NO_x e HC. Determinaram-se fatores de emissão veicular em função das características do veículo, tais como: ano de fabricação,

tipo de combustível, peso total e características do motor. Além disso, consideram-se as condições geométricas, morfológicas, topológicas, tipo e características geométricas da via, altura dos edifícios, tráfego veicular e as condições climáticas e meteorológicas, por serem parâmetros que contribuem no modelo de emissão.

Os modelos de tráfego, de emissão e dispersão foram integrados no SIG (Figura 4.3), com isso, foi representado o comportamento do tráfego na rede viária e foram criados cenários de emissão e concentração para simular os níveis de poluição.

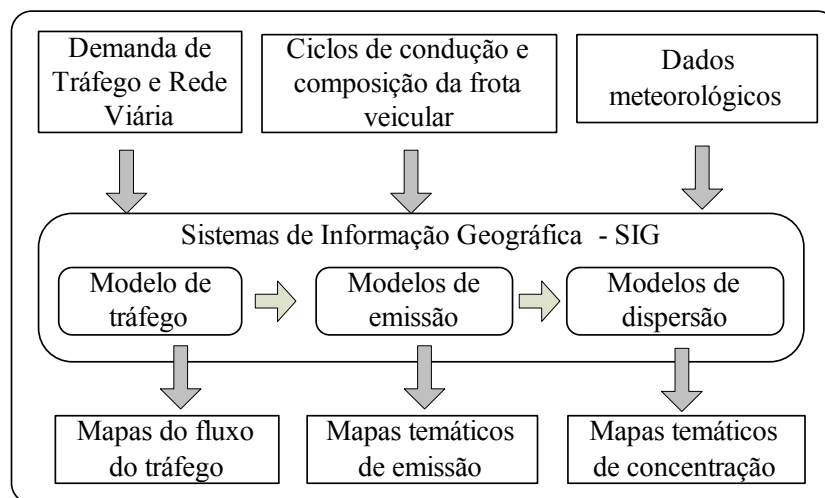


Figura 4.3 Estrutura SIG para poluição do ar.

Fonte: Gualtieri e Tartaglia (1998).

- **Modelagem da poluição do ar aplicando SIG**

A pesquisa desenvolvida por Sharma *et al.* (2003) foi para prever a concentração de poluentes veiculares na cidade de Nova Deli (Índia) e ajudar os planejadores a proteger a saúde da população dos efeitos adversos da exposição excessiva do CO. O estudo é realizado na via principal da cidade (com aproximadamente 198 km de extensão). A pesquisa foi realizada em quatro etapas. Na primeira etapa, foi feita a medição dos poluentes veiculares em seis (6) pontos de coleta ao longo da via. O poluente medido foi o CO, considerando parâmetros meteorológicos, tais como velocidade de vento, sentido do vento, temperatura, umidade. Da mesma forma, coletaram-se dados de tráfego veicular (volume de tráfego, composição, velocidade) no mesmo período de coleta dos poluentes. Numa segunda etapa, foi utilizado o modelo de dispersão CALINE-4 (*California Line*)

baseado na equação Gaussiana, a qual considera a fonte de emissão, meteorologia, geometria e características do local para avaliar a qualidade do ar em relação ao CO. O modelo permite: prever concentrações de poluentes de 1 e 8 horas, para receptores posicionados dentro de 150 metros da estrada e; criar o cenário mais crítico (combinando a velocidade e o sentido do vento) produzido pelas máximas concentrações dos poluentes nos pontos identificados ao longo da via. Em uma terceira etapa, os dados da previsão, em intervalos de oito (8) horas (0-8 horas, 8-16 horas, 16-24 horas), do CO foram integrados aos pontos respectivos da coleta, utilizando o *software* de SIG TransCAD®. Na quarta etapa, foi representada a concentração do CO em mapas digitais de elevação (*Elevation Digital Model* – EDM), permitindo identificar o perfil tridimensional das concentrações da poluição ao longo da via. Os resultados mostraram que a máxima concentração ocorre no centro da via e que essa se reduz gradualmente conforme se separa do centro. Aproximadamente entre 90 a 100 metros de distância dos pontos de coleta, a concentração de CO alcança o nível mais alto (área de impacto).

- **Um modelo SIG para análise da qualidade do ar nas áreas urbanas**

Como vários grandes centros urbanos latino-americanos, Mendoza (Argentina), uma cidade de cerca de 900.000 habitantes, apresenta níveis altos de poluição do ar causada principalmente por fontes móveis. Para avaliar a qualidade do ar, Puliafito *et al.* (2004) desenvolveram duas estratégias principais. A primeira foi organizar uma rede de estações de monitoramento em toda a cidade e a segunda foi o desenvolvimento de um modelo de poluição integrado a um SIG para avaliar a influência das fontes estacionárias e móveis na qualidade do ar. Para isso, ao longo de 10 anos, foram realizadas medições diárias contínuas dos principais poluentes em locais diferentes da cidade. Com as medições realizadas, foi calibrado um modelo de poluição. O modelo calibrado foi integrado ao SIG, possibilitando testar a tolerância ao padrão de emissão no local em estudo, avaliar o impacto ambiental de novas indústrias e determinar variações de emissão perante o aumento do número de veículos. Com isso, foi possível caracterizar as áreas com risco de acréscimo da poluição do ar ou, com melhoria na qualidade do ar, calcular e comparar diferentes cenários, mudando dados de entrada, tais como fluxo de tráfego e padrões de emissão em função da velocidade.

O SIG permitiu a integração, gerenciamento, análise e a simulação de dados espaciais e temporais, detectando regiões onde existe uma maior concentração de poluentes. A estrutura metodológica é apresentada na Figura 4.4. Observa-se que foi necessário o levantamento de informações das fontes de emissão, tais como: inventário das indústrias, número de veículos, tipos de via. Também foram medidos e calculados os fatores de emissão para fontes estacionárias e móveis, os quais, ao serem armazenados no banco de dados do SIG, foram representados na forma de linha (veículo) ou *grid* (indústria). Para representar espacialmente os fatores de emissão, a cidade foi dividida em *grides* de 350m x 350m e, no caso de áreas próximas das fontes industriais, foi gerado um *grid* menor de 100m x 100m.

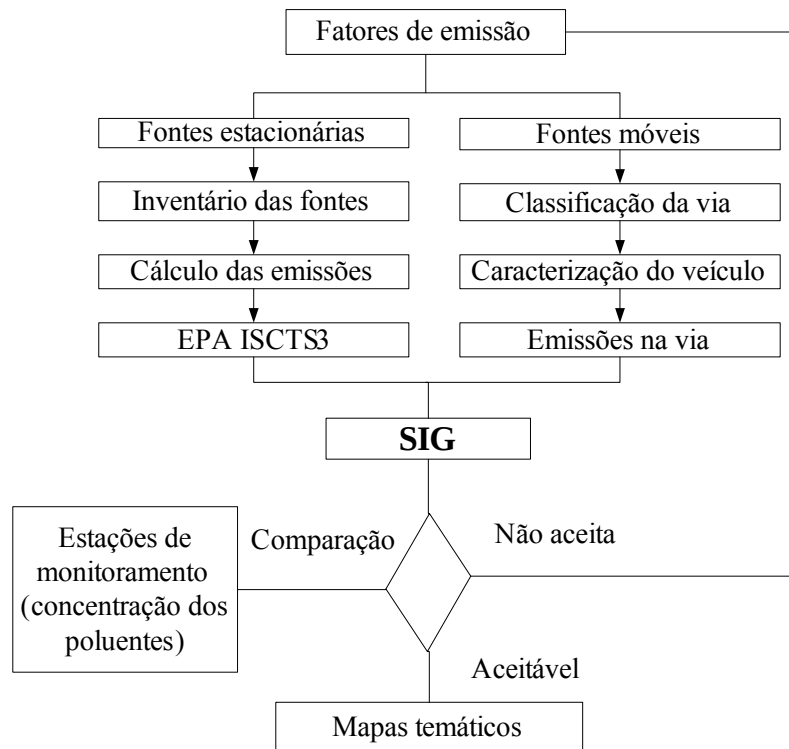


Figura 4.4 Diagrama da metodologia.

Fonte: Puliafito *et al.* (2004).

- **Análise e visualização da qualidade do ar relacionada ao tráfego em Cincinnati (EUA)**

Wang *et al.* (2004) apresentam uma metodologia que utiliza um modelo analítico de qualidade do ar, o CAL3QHC, junto ao *software* de SIG ArcMap® para análise do impacto ambiental de tráfego. No CAL3QHC, são especificados dados da geometria da via, dos locais de emissão, das condições meteorológicas e dos fatores de emissão veicular, permitindo obter valores numéricos das concentrações de poluentes em locais específicos para diferentes direções do vento. A integração do CAL3QHC ao *software* do SIG possibilitou a exibição por meio de mapas temáticos das concentrações de CO, geradas pelos veículos automotores. Adicionalmente, os valores gerados do CO que cobrem a área de estudo foram representadas em uma rede irregular de triangulação (*Triangulated Irregular Network – TIN*) com formato de visualização dimensional 3D. Com tal representação, a qualidade do ar sob determinada condição do tráfego é visualizada e avaliada. A metodologia permitiu aos planejadores do transporte fazer comparações de diferentes cenários e escolher uma solução ótima em um processo de tomada de decisão.

- **Modelagem espacial da poluição do ar em áreas urbanas utilizando SIG: desenvolvimento de uma base de dados integrada**

Uma metodologia para análise da qualidade do ar da cidade de Praga (República Checa), baseada na coleta de dados por monitoração, utilização de modelos matemáticos e integração destes no SIG, é apresentada por Majeticek (2005). Foram utilizados modelos espaciais para determinar a concentração de NO_x e O₃ gerados pelo fluxo do tráfego nas áreas urbanas, com base nos dados proporcionados por um sistema de monitoração automático chamado LIDAR. Os dados espaciais utilizados contêm mapas digitais das áreas em estudo, complementados por modelos digitais de elevação em 3D. Foram realizadas as análises ambientais por meio de interpolação espacial da poluição do ar, representados em planos horizontais e verticais (*overlay*). Os resultados do monitoramento obtidos são usados para modelar e analisar espacialmente as áreas urbanas em risco. Foram processadas imagens aéreas e de satélite para representar as áreas de poluição do ar de Praga, por meio de modelos espaciais, nos *softwares* ArcGis® e ArcView®.

Conforme apresentado na Figura 4.5, a modelagem espacial utiliza-se do formato vetorial para descrição e representação da qualidade do ar (ponto local, linha e área das fontes da poluição, e poluição do ar do transporte interurbano). Para representar os objetos do ambiente urbano (edifícios, pontes, vegetação), são utilizadas imagens de satélite e fotografias aéreas. O modelo utiliza uma representação por *raster* e superfície TIN. As partes fundamentais do estudo representam os dados da qualidade do ar medidos *in loco* por redes de monitoramento e resultados da simulação de modelos da qualidade do ar.

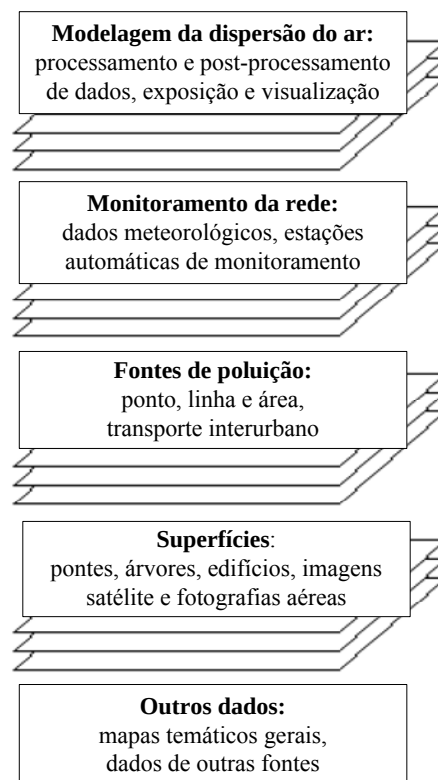


Figura 4.5 Dados integrados no SIG.

Fonte: Majeticek (2005).

- **Modelagem ambiental em áreas urbanas utilizando SIG**

Acrescentando uma outra forma de abordagem do estudo anterior, Majeticek *et al.* (2005) procuraram prever a exposição espaço-temporal do ambiente urbano à poluição, como subsídio a políticas de gestão à proteção urbana. Para isso, foi desenvolvida uma metodologia que focaliza o uso do SIG para determinar a poluição do ar, da água e do solo em áreas urbanas. Os componentes ambientais básicos foram complementados por meio de

monitoramento do ar, de resíduos e da exposição ao ruído. Foram desenvolvidos modelos de correlação, regressão e análise para estudo e simulação da relação dinâmica dos fenômenos espaço-temporais. A integração de uma gama extensiva de fatores, relativamente independentes, habilita uma análise mais complexa do ambiente nas áreas urbanas. A análise ambiental é realizada por operadores algébricos *raster*, utilizando o *software* ArcView®. O suporte básico para a análise foi obtido pelo uso de um Sistema de Gerenciamento de uma Base de Dados Relacional (*Relational Data Base Management Systems* - RDBMS) do SIG, que integra uma gama de dados espaciais e temporais permitindo a produção, visualização, consulta e interface com os dados externos das emissões (Figura 4.6(a)). O modelo ambiental foi calibrado e testado por meio da aplicação nas áreas urbanas de Praga, embora tenha sido aplicada também em outras áreas semelhantes. A vantagem principal deste modelo ambiental está em que este focaliza a integração das diversas formas de poluição (poluição da água, do ar, do solo) e sua relação com as atividades humanas, como se observa na Figura 4.6(b).

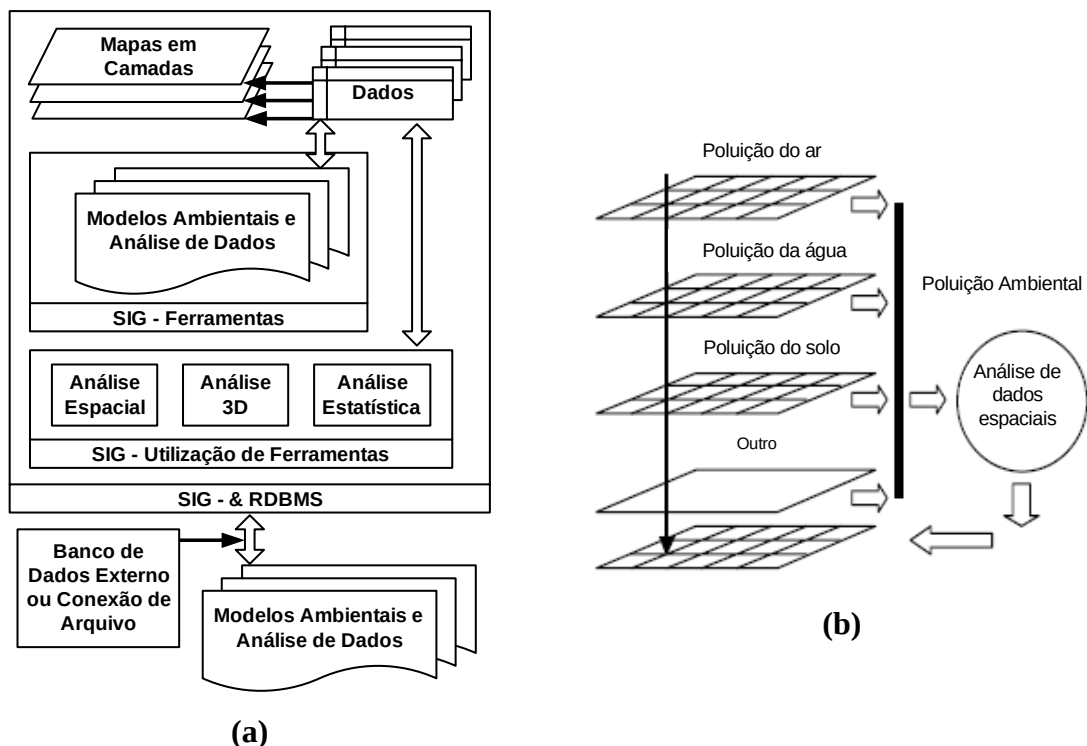


Figura 4.6 Modelagem ambiental e análise de dados utilizando SIG.

Fonte: Majeticek *et al.* (2005).

Como exemplo, é apresentado, na Figura 4.7, o diagrama de análise espacial dos dados obtidos. Os dados de entrada são organizados em camadas de mapas que contêm a localização das estações de monitoramento da poluição do ar, a rede viária (fluxo do tráfego) e as fotografias aéreas. Depois da análise espacial de cada camada, o espaço criado é processado junto com os resultados do modelo ambiental. Consecutivamente, estes resultados particulares são combinados, por um mapa de análise algébrico e *raster*, junto com os resultados semelhantes de outros módulos ambientais (poluição da água, solo, ar, etc.). Obtendo-se, assim, que a análise espaço-temporal e os modelos ambientais dinâmicos são acessíveis pela interface do usuário e dos ferramentais do SIG.

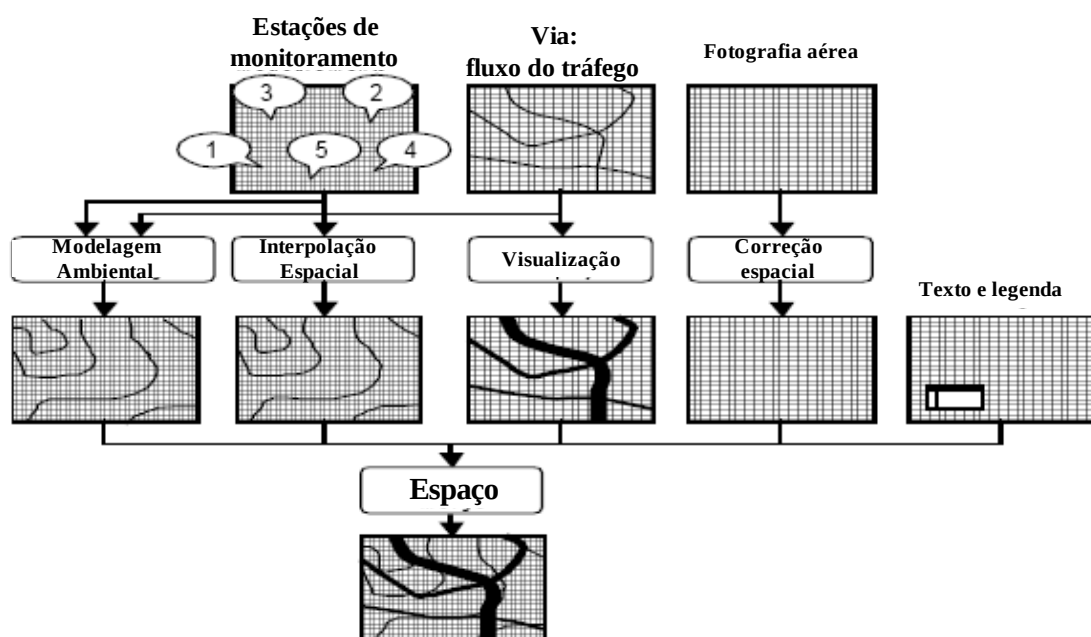


Figura 4.7 Diagrama da análise espacial dos dados.

Fonte: Majeticek *et al.* (2005).

4.4. TÓPICOS CONCLUSIVOS

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem integrar e analisar vários dados ambientais de diferentes fontes de emissão para avaliar os impactos derivados do tráfego veicular na saúde humana e no meio ambiente. O uso integrado do SIG com modelos de emissão ou dispersão para simulação e visualização em 3D das emissões veiculares subsidia, com informações ambientais, os planejadores na tomada de decisão.

As diversas aplicações, utilizando os SIG para avaliação da poluição do ar, mostraram que existe um avanço significativo, a nível internacional, em explorar e utilizar as potencialidades dessa ferramenta. No Brasil, embora a ferramenta de SIG seja de uso difundido e de diversas aplicações em transportes, mais especificamente em estudos que integrem os SIG e poluição atmosférica provenientes do tráfego viário, ainda sejam quase inexistentes. As poucas experiências de uso integrado de SIG e avaliação da poluição das emissões veiculares estão restritas a um nível básico de gerenciamento e consulta de dados, e de sinopse de dados espaciais. Isto é muito provável que esteja acontecendo pela falta de estudos mais detalhados sobre a distribuição de emissões veiculares nos centros urbanos brasileiros.

Das experiências internacionais, observou-se que as análises de dados espaciais e modelagem de emissões servem para uma gama extensa de propósitos. Dentre os mais importantes, destaca-se a avaliação de áreas de risco para a saúde da população no monitorando dos padrões de qualidade do ar e na previsão espaço-temporal de poluentes derivados das emissões veiculares. Com isso, as autoridades locais e planejadores de transporte podem realizar avaliações da qualidade do ar local e priorizar áreas que requeiram estudos mais rigorosos.

Observou-se, também, que o problema da poluição do ar é bastante complexo e que precisa de um sistema integrado para aquisição, armazenamento, manipulação, recuperação, análise, apresentação e troca de dados ambientais. Assim, os vários estudos apresentados apontam para o desenvolvimento de um sistema de gestão da qualidade do ar, por meio de metodologias que permitam avaliar o nível de poluição do ar nas áreas urbanas. É evidente que o sucesso de um sistema integrado deva ter dados precisos, atualizados, organizados e com valores representativos da realidade em estudo.

Adicionalmente, foi determinado que, na experiência internacional como na nacional, a previsão da poluição do ar e, especificamente, a veicular é estimada em função de modelos de emissão, modelos de dispersão, baseados em cálculos matemáticos, simuladores de tráfego veicular e padrões de emissão. No entanto, para poder melhorar o entendimento e a representação do fenômeno das emissões veiculares, mais estudos e metodologias precisam ser realizadas, para assim contribuir, significativamente, no desenvolvimento do tema.

5. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAR ESPACIALMENTE OS NÍVEIS DE EMISSÃO DE GASES DERIVADOS DE VEÍCULOS AUTOMOTORES EM ÁREAS URBANAS

5.1. APRESENTAÇÃO

Conforme apresentado no capítulo 2, são vários os esforços que vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de estabelecer parâmetros que permitam monitorar as emissões veiculares e que subsidiem ações para uma adequada gestão ambiental. Essa preocupante situação não somente envolve questões ambientais, mas, principalmente, os efeitos produzidos na saúde humana. No capítulo 3, foi determinado que a poluição do ar é um fenômeno eminentemente espacial e que, para um melhor entendimento dos seus efeitos espaciais, é necessário utilizar tecnologias que possibilitem um adequado tratamento do fenômeno. Adicionalmente, foi levantado, no capítulo 4, que o Sistema de Informação Geográfica é uma das técnicas que além de facilitar o monitoramento da poluição e seus efeitos, também auxilia na criação de cenários, permitindo o desenvolvimento de ações mitigadoras dos efeitos negativos à saúde e ao ambiente construído.

Com esses fundamentos, no presente capítulo, é apresentada uma proposta metodológica cujo objetivo principal é identificar espacialmente os níveis de emissão de gases de veículos automotores nas áreas urbanas, baseada nos conceitos a respeito da poluição do ar, poluição veicular, padrões de qualidade do ar, padrões de emissão veicular, assim como metodologias para estimar e representar espacialmente os níveis de poluição do ar. Procurou-se montar uma estrutura metodológica que atende a urgente necessidade de um instrumento sistêmico de utilidade para gestores e planejadores. Essa opção metodológica procura sua utilização em cidades de pequeno e grande porte, considerando que, em geral, os dados e informações necessárias para sua implantação, em parte, são possíveis de se obter. Adicionalmente, a metodologia envolve a utilização de valores referenciais de emissão veicular desenvolvidos por Filizola (2005), o que facilitaria a avaliação dos padrões de emissão e com isso quantificar e qualificar como os níveis de emissão estão afetando à população.

É necessário lembrar que a abordagem de utilização dos valores referenciais de emissão veicular é pioneira no Brasil, e que a presente proposta dá prosseguimento às pesquisas desenvolvidas pelo Laboratório de Monitoramento e Controle Ambiental em Transportes (LaMCAT) do Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes (CEFTRU), Universidade de Brasília (UnB).

Por fim, recomenda-se que uma aplicação bem sucedida da metodologia deva estar precedida de um correto entendimento e formulação do problema da poluição veicular a ser tratado, que os dados sejam quantitativamente e qualitativamente confiáveis e que a utilização de procedimentos nos SIG seja adequadamente válida para interpretação dos resultados. O desenvolvimento de cada etapa da proposta metodológica e das informações necessárias é apresentado a seguir.

5.2. ETAPAS DA METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida considera como variáveis principais os fluxos de veículos nas vias e valores referenciais emissão veicular do Brasil. A metodologia inclui a geração de mapas de níveis de emissão dos gases derivados de veículos automotores, utilizando o SIG. Assim, visando atender aos objetivos propostos na dissertação, delimitaram-se sete etapas, apresentadas no fluxograma da Figura 5.1 da estrutura metodológica.

As sete etapas que compõem a estrutura metodológica são descritas a seguir:

- ETAPA I – Delimitação da área de estudo;
- ETAPA II – Identificação do fluxo de veículos;
- ETAPA III – Levantamento dos dados do fluxo de veículos;
- ETAPA IV – Montagem do banco de dados;
- ETAPA V – Determinação da emissão veicular;
- ETAPA VI – Representação espacial dos níveis de emissão veicular;
- ETAPA VII – Identificação dos níveis críticos de emissão dos gases nas vias.

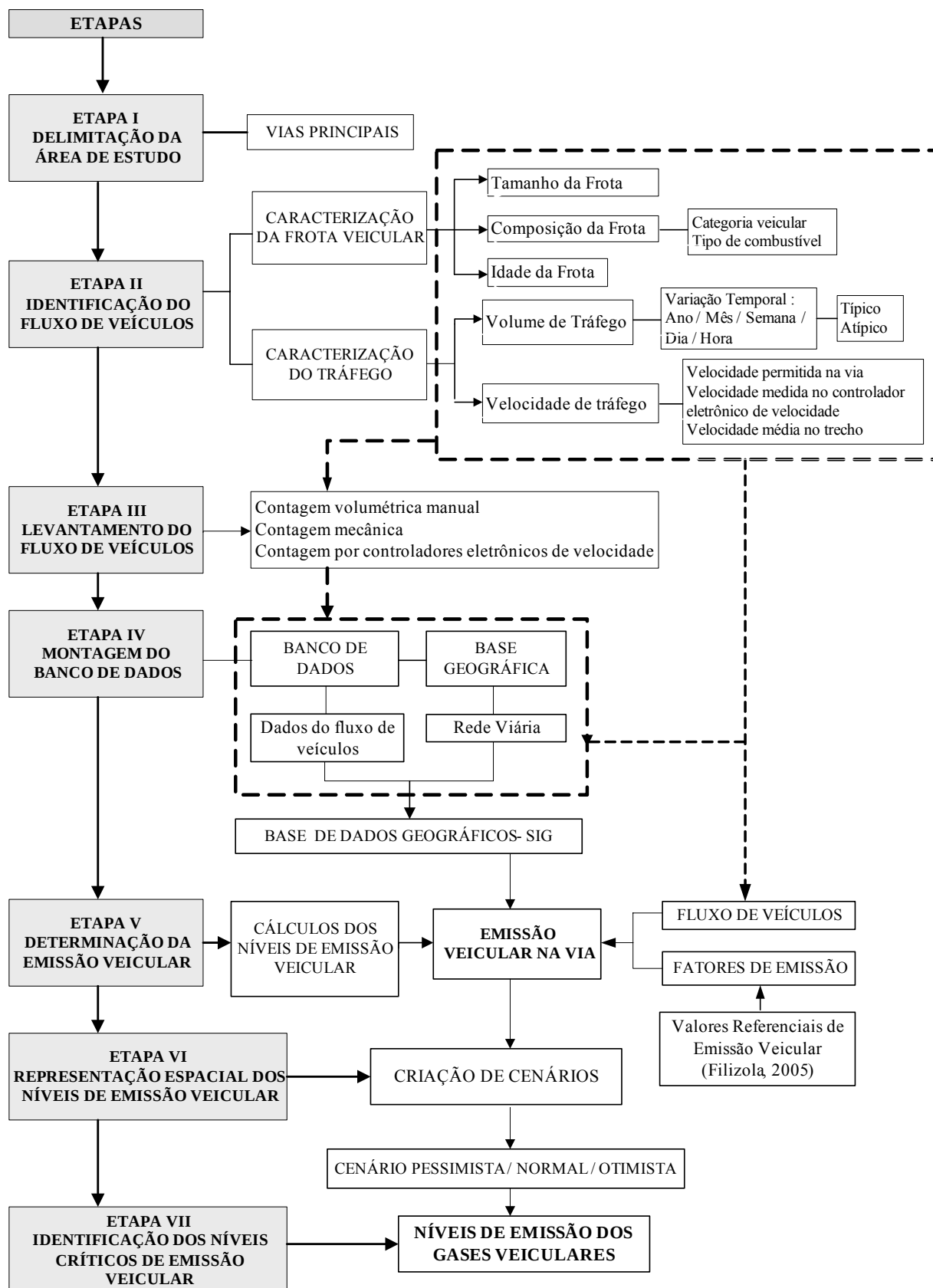


Figura 5.1 Estrutura metodológica.

5.2.1. Etapa I: Delimitação da área de estudo

Nessa etapa, deve ser delimitada e caracterizada a área de estudo. Deve-se considerar a localização e as características da cidade (história, localização de estações de monitoramento, configuração espacial, sistemas de transporte, sistema viário), a fim de identificar e determinar a abrangência do problema da poluição veicular.

A metodologia proposta tem como fim subsidiar estudos estratégicos. Sendo assim, a área de estudo deve contemplar as vias principais do sistema viário.

5.2.2. Etapa II: Identificação do fluxo de veículos

No planejamento do transporte, o fluxo de veículos é usado principalmente como suporte à tomada de decisão em um nível tático-estratégico, destinando-se geralmente à classificação funcional das vias, na alimentação e calibração de simuladores e modelos de previsão de demanda, em estudos de origem-destino, na avaliação de políticas públicas, dentre outros (Oliveira, 2004). No referente às emissões de poluentes, a principal variável de estudo é o fluxo de veículos, na metodologia proposta, o nível de poluentes num determinado ponto de contagem, numa seção de faixa ou via será função do volume total de veículos que passam durante um dado intervalo de tempo.

Uma informação detalhada que descreva e caracterize o fluxo de veículos permite identificar as características e a quantidade de veículos que emitem poluentes atmosféricos. Todavia, é importante determinar o comportamento do fluxo de tráfego e suas variações no tempo e espaço com relação à emissão.

A informação da frota veicular pode ser obtida por meio dos órgãos de trânsito da área em estudo, normalmente, obtida do banco de dados de cadastro de placas (fonte oficial). Esses dados podem ser cruzados com os volumes de vendas informados pelos fabricantes e com as estatísticas de sucateamento da frota (frota sem utilidade), com a finalidade de verificar a quantidade e idade da mesma. No Brasil, as principais instituições que podem proporcionar informação referente à frota veicular são:

- Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN): Informações da frota de veículos (distribuição por espécie e data de fabricação);
- Departamento de Trânsito dos Estados e do Distrito Federal (DETRAN): Informações das estatísticas da frota veicular registrada;
- Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA): Informações de vendas ao mercado interno de veículos automotores;
- Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE): Informações, dados, estatísticas e comentários sobre o desempenho de cada segmento que envolve o setor da distribuição de veículos automotores.

Desse modo, a partir da delimitação da área de estudo, devem ser identificadas as características da frota veicular e a variação do fluxo de veículos, conforme especificado a seguir.

5.2.2.1. Caracterização da frota de veículos

Conforme visto na seção 2.2.2, as emissões dos veículos variam em função de diversos fatores, dentre elas, as características da frota. A variação entre a quantidade e composição das emissões é influenciada pelas características dos veículos, sendo necessário coletar os dados concernentes ao tamanho, peso, potência, número de carburadores, idade, tipo de injeção de combustível, presença ou não de catalisadores e tipo de motor. A metodologia objetiva identificar a composição, o tamanho e a idade da frota veicular como principais variáveis na determinação das emissões veiculares, como especificado a seguir.

a) Tamanho da frota

O tamanho da frota refere-se à quantidade de veículos que circula pelas vias da área em estudo. Este item tem como finalidade conhecer a representatividade do fluxo de veículos da área em estudo com relação à frota existente em um âmbito espacial maior, tais como municipal, estadual, nacional ou internacional.

b) Composição da frota

Este item refere-se ao tipo de veículo que compõe o fluxo veicular. A composição da frota permite conhecer a distribuição do fluxo de veículos quanto à categoria veicular (automóvel, caminhonete, caminhão, ônibus, motocicleta, microônibus, reboque, semi-reboque, outros) e quanto ao tipo de combustível utilizado (gasolina, álcool, gasolina/álcool, diesel, outros), assim, determinando a contribuição das emissões dos poluentes nas vias.

Considerando que a emissão dos poluentes entre os veículos é diferente, o objetivo de classificar o fluxo veicular é para determinar a emissão segundo o tipo de veículo. Por exemplo, identificar o tipo de veículo (categoria veicular) que circula na via é importante, pois um automóvel não polui da mesma forma que um caminhão, ônibus ou motocicleta. Conforme apresentado no capítulo 3, as características do veículo como tamanho, peso e potência podem implicar num maior consumo de combustível e, conseqüentemente, numa maior proporção de emissão de gases poluentes. Além disso, as categorias de veículos apresentam diferentes fatores de emissão, os quais devem ser considerados no cálculo da emissão veicular.

Em referência ao tipo de combustível, é de se esperar que uma localidade que possua uma maior quantidade de ônibus e caminhões em circulação (utilizando basicamente diesel como combustível) apresente um maior índice de emissão de partículas em suspensão (fuligem) do que se possuísse uma frota composta por veículos movidos a gasolina e/ou álcool. Portanto, o tipo de frota circulante é um fator que caracteriza o tipo de poluente emitido numa localidade.

- Categoria veicular

Para determinar a categoria veicular, considera-se a caracterização regulamentada pela legislação brasileira que estabelece os limites de emissão veicular no Brasil (IBAMA, 2004). As categorias consideradas são:

- Veículo leve de passageiros: é o veículo automotor com massa total máxima até 3.856kg e massa do veículo em ordem de marcha até 2.720kg, projetado para o

transporte de até 12 passageiros, ou seus derivados para o transporte de carga. De acordo com essa classificação, na metodologia proposta incluem-se os automóveis e camionetas, veículos de uso misto tipo perua (*station wagon*);

- Veículo leve comercial: é o veículo automotor, não derivado de veículo leve de passageiro, com massa total máxima até 3.856kg e massa do veículo em ordem de marcha até 2.720kg, projetado para o transporte de carga, ou misto ou seus derivados, ou projetado para o transporte de mais que 12 passageiros, ou ainda com características especiais para uso fora de estrada. Na metodologia proposta a classificação será composta por caminhonetes. Incluem-se os furgões, vans, microônibus e utilitários;
- Veículo Pesado: é o veículo automotor para transporte de passageiros e/ou carga, com massa total máxima maior que 3.856kg ou massa do veículo em ordem de marcha maior que 2.720kg, projetado para o transporte de passageiros e/ou carga. Essa classificação na metodologia proposta compreende os ônibus, caminhões, microônibus, semi-reboques e reboques;
- Veículos de duas rodas e assemelhados: são veículos de duas, três ou mais rodas, cujas características construtivas e de propulsão se originam das motocicletas, motonetas, ciclomotores ou bicicletas com motor auxiliar, ou semelhantes a elas. São exemplos: patinetes motorizados, motocicletas com carro lateral ou caçamba para carga, motonetas com habitáculo de passageiros e/ou caçamba para carga, etc. (IBAMA, 2004). Essa categoria de veículos, no presente estudo, inclui motocicletas e ciclomotores;

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro – CTB (BRASIL, 2002), no Anexo 1, apresentam-se as definições dos veículos automotores segundo sua categoria, sendo:

- Automóvel: veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor;
- Camioneta: veículo misto destinado ao transporte de passageiros e carga no mesmo compartimento;
- Caminhonete: veículo destinado ao transporte de carga com peso bruto total de até 3.500 kg (três mil e quinhentos quilogramas);

- Ônibus: veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para mais de vinte passageiros, ainda que, em virtude de adaptações tendo em vista maior comodidade destes, transporte um número menor;
- Caminhão-trator: veículo automotor destinado a tracionar ou arrastar outro;
- Microônibus: veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para até vinte passageiros;
- Reboque: veículo destinado para ser engatado atrás de um veículo automotor;
- Semi-reboque: veículo de um ou mais eixos que se apóia na sua unidade tratora ou é a ela ligado por meio de articulação;
- Motocicleta: veículo automotor de duas rodas, com ou sem *side-car*, dirigido por condutor em posição montada;
- Ciclomotor: veículo de duas ou três rodas, provido de um motor de combustão interna, cuja cilindrada não exceda a cinquenta centímetros cúbicos (3,05 polegadas cúbicas) e cuja velocidade máxima de fabricação não exceda a cinquenta quilômetros por hora.

- Tipo de combustível

O tipo de combustível utilizado no veículo define a qualidade da queima da mistura ar/combustível dentro do motor, influenciando na formação dos poluentes emitidos. Conhece-se que os veículos movidos a diesel são os maiores contribuintes para emissão de partículas inaláveis, fumaça e óxidos de nitrogênio, seguido pelos veículos movidos a gasolina, sendo os maiores contribuintes para a emissão de monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

Na procura de motores mais eficientes e redução das emissões de poluentes dos veículos a diesel e gasolina, surgiram novas alternativas tecnológicas nos combustíveis, como o álcool e o gás natural. A utilização do álcool, como combustível, causa uma diminuição nas emissões de CO, HC e eliminação da emissão de chumbo, embora aumente as emissões de aldeídos e óxido de enxofre (CETESB, 2004). Já a utilização do gás natural tem como vantagem, em comparação com a gasolina, a ausência de emissões de fuligem, monóxido e hidrocarbonetos. A utilização desses combustíveis determinou a comercialização de veículos movidos a álcool e a gás natural. Atualmente, existe uma comercialização no país de veículos bicomcombustíveis, com motores capazes de empregar tanto álcool hidratado quanto gasolina em qualquer proporção. Esses veículos recebem o

nome popular de *bi-flex*. Na realidade, a maioria dos usuários desses veículos não utiliza o álcool, sendo estes convertidos a gasolina. Cabe ressaltar, entretanto, que não existem dados oficiais sobre a conversão de automóveis movidos a gasolina e/ou álcool. Apesar disso, esta metodologia proposta, procura a estimação dos tipos de veículos em função do tipo de combustível para determinar a contribuição da emissão dos poluentes na área de estudo. Obtendo a quantidade de veículos por tipo de combustível e categoria veicular, será aplicado o fator de emissão do poluente em estudo.

Assim sendo, para determinar a emissão, deve-se classificar o fluxo de veículos em função do tipo de combustível a seguir:

- gasolina;
- álcool;
- álcool e/ou gasolina (*bi-flex*);
- diesel;
- gás natural.

c) Idade da frota

A idade da frota refere-se ao tempo de uso do veículo. As emissões de HC e CO tendem a aumentar conforme o uso do veículo, mesmo havendo uma manutenção adequada. Isso se deve ao desgaste de peças e componentes que afetam as características do motor (Azuaga, 2000). Esse item permitirá identificar a frota que, pelo desgaste natural do mesmo, causa uma maior emissão de poluentes.

É de se esperar que veículos novos sejam menos poluidores devido às alterações tecnológicas de fabricação (melhores catalisadores), embora o uso e desgaste de peças e componentes afetem as características da eficiência do motor, provocando aumento de poluentes. Contudo, os veículos novos, que atendem aos limites de emissões mais restritivos, tendem a poluir menos que veículos antigos, que atendam aos limites de emissões mais baixos. Além disso, estatísticas de campo mostram que veículos velhos circulam muito menos que veículos novos, de modo que o potencial de emissão da frota tem de ser calculado levando-se em conta todos esses fatores.

Conforme visto no item 5.2.2, os veículos antigos emitem mais poluentes que os veículos novos. Atualmente, as emissões vêm sendo controladas segundo o uso de catalisadores. É conhecido que os veículos com catalisador novo emitem menos poluentes que aqueles com catalisador velho. O catalisador é um componente do sistema de controle de emissões responsável pelas reduções das emissões de CO, NO_x e HC parcialmente queimados ou não. Segundo a Resolução do CONAMA nº 8/93, o fabricante do veículo deve garantir a durabilidade das emissões para 80.000km ou 5 anos. O mesmo tempo da vida é estipulado para o catalisador automotivo. Todavia, o catalisador é um equipamento caro, pois é composto por vários metais nobres em seu interior. Quando sua durabilidade é ultrapassada, raramente é substituído e muitas vezes é retirado pelo proprietário do veículo.

Dessa forma, para a determinação das emissões dos veículos em função da idade da frota, deve ser considerado como limite os cinco primeiros anos, a partir do ano de fabricação. Superior a esse limite de cinco anos, será entendido que a frota usa o catalisador antigo ou não tem catalisador. Com isso, deverá se estipular a porcentagem da frota de veículos maiores que cinco anos (>5) e menores que cinco anos (<5), referentes ao ano de fabricação.

5.2.2.2. Caracterização do tráfego de veículos

Para determinar a emissão, é necessária a obtenção de informações que descrevam o tráfego de veículos, como o volume e velocidade do tráfego nas vias em estudo. Identificar o volume de tráfego em suas variações temporais é fundamental para o estudo das emissões de poluentes nas vias. A variação temporal do fluxo de veículos, em sistemas viários urbanos, é influenciada diretamente pela dinâmica das atividades urbanas. De acordo com Fox *et al.*, *apud* Oliveira (2004), o volume de tráfego ao longo de uma seção da via está sujeito a muitos fatores de variação. As variações podem ser predeterminadas pelo período do dia, dia da semana, feriados ou segundo as características geométricas e funcionais da via. Além disso, variações não predeterminadas, tais como as condições de tempo ou ocorrência de incidentes nas vias, podem afetar o fluxo de veículos.

Assim sendo, esse item da metodologia proposta considera o volume de tráfego nas diferentes formas de variação temporal e a velocidade do tráfego como variáveis determinantes na avaliação das emissões de poluentes veiculares.

a) Volume de tráfego

O volume de tráfego é definido como o número de veículos que passa em uma seção da via, em uma determinada faixa ou direção, durante um intervalo específico de tempo (MsShane e Roess *apud* Oliveira, 2004).

A quantidade de veículos influi diretamente na emissão global de poluentes. Assim, é de se esperar que, em localidades onde haja um tráfego intenso de veículos, ocorrerá uma diminuição na qualidade do ar. A existência da variabilidade no fluxo de veículos ao longo do tempo é amplamente conhecida. No tempo, o volume de tráfego pode variar de diversas formas, desde a variação horária, passando pela variação ao longo da semana, até a variação no decorrer dos meses e anos. Porém, da mesma forma que o volume de tráfego apresenta uma variação temporal, a quantidade de poluentes também varia. Por conseguinte, é necessário conhecer e avaliar a emissão veicular quanto às variações temporais do volume de tráfego.

A forma como o fluxo de veículos varia está relacionada às características locais e só pode ser captada por meio de um monitoramento contínuo dos volumes de tráfego durante curtos ou longos períodos de tempo. Dessa forma, são consideradas as variações temporais de estudo, a variação anual, mensal, diária e horária.

b) Velocidade de tráfego

Um dos parâmetros básicos para a descrição e análise do fluxo de veículos é a velocidade. De acordo com Stumpf (1999), conhecer a distribuição de velocidades no gerenciamento de tráfego é essencial, sendo que, para um determinado número de veículos que passa por determinado ponto ou seção de via, estes apresentam velocidades diferentes.

Conforme a seção 2.2.2, a emissão de poluentes é influenciada, entre outros fatores, pelo modo de operação do veículo, o desempenho, a velocidade, o comportamento e o estilo de dirigir de cada motorista. Por conseguinte, esses fatores podem provocar, entre um e outro veículo, diferenças na quantidade de poluentes emitidos. As condições de congestionamento de tráfego são críticas para a emissão de poluentes, sendo que as maiores emissões de CO se apresentam quando os veículos estão parados (motor ligado),

diferente de quando os veículos operam a velocidade constante (Santos, 1981). À medida que a velocidade média diminui, aumentam as emissões de CO e HC e diminuem as emissões de NO_x. Porém, considera-se a velocidade de tráfego como sendo uma variável importante na determinação das emissões veiculares, pois, como indicado, para cada velocidade, a quantidade de emissão dos poluentes varia.

De acordo com a forma de monitoramento e o fornecimento dos dados de fluxo de veículos por parte dos órgãos responsáveis da área de estudo, deve ser analisada a emissão em função da velocidade, segundo:

- a velocidade média no trecho;
- a velocidade medida dos controladores eletrônicos de velocidade na via;
- a velocidade permitida na via.

Em relação à velocidade permitida na via, entendendo a via como o espaço destinado à circulação. É necessário identificar o tipo de via em função da velocidade. Embora existam diversas classificações, a que mais interessa para estudos de poluição veicular é a chamada classificação funcional, que determina a hierarquia do sistema viário. No Brasil, as categorias funcionais costumam apresentar ligeiras variações de acordo com o sistema de classificação. Em termos gerais, as categorias funcionais são: sistema arterial, sistema coletor e sistema local (Silva, 2001).

O CTB (BRASIL, 2002), em seu Artigo 61, regulamentou os limites de velocidade nas vias urbanas, estabelecendo a velocidade máxima onde não houvesse sinalização regulamentada. A classificação e respectivos limites de velocidade constantes são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 Limites de velocidade em áreas urbanas segundo o CTB.

Área Urbana	
Categoria	Velocidade Máxima (km/h)
Via de trânsito rápido	80
Via arterial	60
Via coletora	40
Via local	30

Fonte: BRASIL, 2002

As definições das diferentes categorias de vias são definidas pelo CTB no Anexo 1, sendo:

- Via de Trânsito Rápido: aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível;
- Via Arterial: aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade;
- Via Coletora: aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arterial, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade;
- Via Local: aquela caracterizada por interseções em nível não-semaforizado, destinada apenas ao acesso local ou às áreas restritas.

Desse modo, identificadas as categorias de vias na área de estudo, devem ser consideradas as velocidades estabelecidas pelo CTB e as velocidades obtidas nos diferentes pontos de contagem de veículos nas vias em estudo, para determinar e analisar os níveis de emissão em função da velocidade.

5.2.3. Etapa III: Levantamento de dados do fluxo de veículos

Para obter o fluxo de veículos nas vias, é preciso realizar um levantamento de dados. Cabe ressaltar que, para a realização dessa etapa, as variáveis do fluxo de veículos a estudar devem ser definidas categoria veicular, variação temporal do fluxo de veículos (como por exemplo, dia típico, hora típica, etc.) para evitar falta de dados ou erros na coleta, assim

como a disponibilidade de instrumentos ou meios para a obtenção dos dados, a fim de evitar custos desnecessários e perda de tempo.

O levantamento de dados deve ser obtido por meio das diferentes formas de contagem volumétrica, como as recomendações por Akishino (2006) descritas a seguir:

a) Contagem volumétrica manual

Utilizada em locais específicos, onde os dados desejados não podem ser obtidos por contagens mecânicas. No caso de volumes pequenos a simples marcação em formulários adequados é suficiente; para volumes altos podem ser utilizados pequenos aparelhos de fácil operação manual. Quando muitos desses aparelhos pequenos são necessários, recomenda-se que os mesmos sejam montados fixos em pranchetas.

Propõe-se, na metodologia, a realização da contagem manual para o estudo da emissão veicular nas vias por curto período de tempo, visando, principalmente, os horários de pico. Deve ser considerado que as contagens manuais oferecem resultados com até 95% de precisão, embora sejam mais caras que as contagens mecanizadas.

b) Contagem mecânica

Os processos mecanizados são usados em contagens durante longos períodos, tais como o caso de postos de contagens permanentes. Há um dispositivo apropriado para cada classe de via, situação de tráfego e condições do meio ambiente. Geralmente, um dispositivo mecânico utiliza duas funções: primeiro detectar e perceber o tráfego de veículos; segundo, registrar os dados de tráfego. A seguir, são apresentados os tipos de contadores utilizados, nesse tipo de contagem, recomendados por AKISHINO, (2006).

- Contadores Mecânicos Permanentes: utilizados em contagens de longa duração, permitem obter fatores de ajustamentos (correção) de pequenas contagens, ou para pesquisa da chamada enésima hora de projeto, ou para a obtenção de curvas de crescimento de tráfego.

- Contadores Portáteis: utilizados em contagens temporárias de pequena duração. Em geral, esse aparelho consiste em um contador operado eletricamente por impulsos de ar, providos de um tubo pneumático que atravessa a via;
- Contadores Registradores: fornecem um registro permanente do volume, escrevendo os totais numa fita de papel, ou desenhando num gráfico, ou perfurando uma fita de papel, que é analisada mais tarde pelos computadores;
- Contadores não-registradores: têm um marcador visível que deve ser lido por um observador.

A metodologia, neste trabalho, propõe que a contagem mecânica seja utilizada para determinar o número de veículos em vias de maior fluxo por períodos mais longos e realizados em horários de pico. Deve-se considerar que a contagem permite a classificação dos veículos em função da categoria veicular por número de faixas. Propõem-se a contagem mecânica para o estudo da emissão em vias com altos volumes de tráfego.

- c) Contagem do fluxo de veículos por instrumentos eletrônicos de monitoramento localizados nas vias, como os radares dos controladores eletrônicos de velocidade.

Embora os controladores eletrônicos de velocidade (CEVs) tenham por objetivo reduzir acidentes ocasionados pelo excesso de velocidade, os dados coletados podem ser utilizados para contagem e caracterização do fluxo de veículos. Os CEVs dividem-se em dois tipos:

- Controlador Eletrônico Ostensivo – Lombadas Eletrônicas: é um dispositivo fixo de medição que informa a velocidade do veículo ao passar pelo equipamento. Foi desenvolvido para controlar a velocidade em determinado trecho viário, induzindo a redução pontual de velocidade abaixo da regulamentada, de forma análoga à ondulação transversal, com a vantagem de não interromper o fluxo. (Bertazzo *et al.*, 2002). Os trechos onde o limite de velocidade é diferenciado são definidos como zonas de velocidade, ou seja, não apresentam níveis de segurança razoáveis para operação dentro do limite de velocidade permitido para a via (Stumpf, 1999);

- Controlador Eletrônico Ostensivo Discreto – Pardais: São dispositivos fixos de medição, fiscalizando o cumprimento da velocidade regulamentar para um determinado trecho viário. Os CEVs discretos visam diminuir o risco de acidentes relacionados ao excesso de velocidade dos condutores que não respeitam o limite de velocidade da via (CONTRAN, 2001).

Os dois tipos de CEVs são dispositivos com processamento contínuo de dados que medem a velocidade dos veículos por meio de laços magnéticos implantados no pavimento. A principal vantagem dos equipamentos dos CEVs é a armazenagem dos dados de todos os veículos que passam pela seção monitorada, tais como: horário da passagem, velocidade, tamanho do veículo. A partir desses dados, é possível analisar de maneira desagregada o fluxo de veículos nas seções monitoradas. Assim, por exemplo, conhecendo o tamanho dos veículos, pode-se definir o fluxo para diferentes categorias de veículos.

Dessa forma, uma vez obtida a informação dos fluxos de veículos por meio das diversas formas de contagem volumétrica, esses dados devem ser classificados, organizados e analisados em função da variação temporal analisada, para elaborar o banco de dados do fluxo de veículos em estudo e referenciá-los numa base geográfica.

5.2.4. Etapa IV: Montagem do banco de dados geográfico

Os dados dos fluxos de veículos obtidos precisam ser organizados e analisados, para isso é necessário criar um banco de dados geográfico. O objetivo dessa etapa de criação do banco de dados geográficos é facilitar a localização e uma consulta dos dados nas diferentes vias da área em estudo. Para isso, nessa etapa devem ser realizados dois processos paralelos: o primeiro é a elaboração do banco de dados do fluxo de veículos e o segundo é a elaboração da base geográfica. Observa-se, no fluxograma da Figura 5.2, o processo dessa etapa.

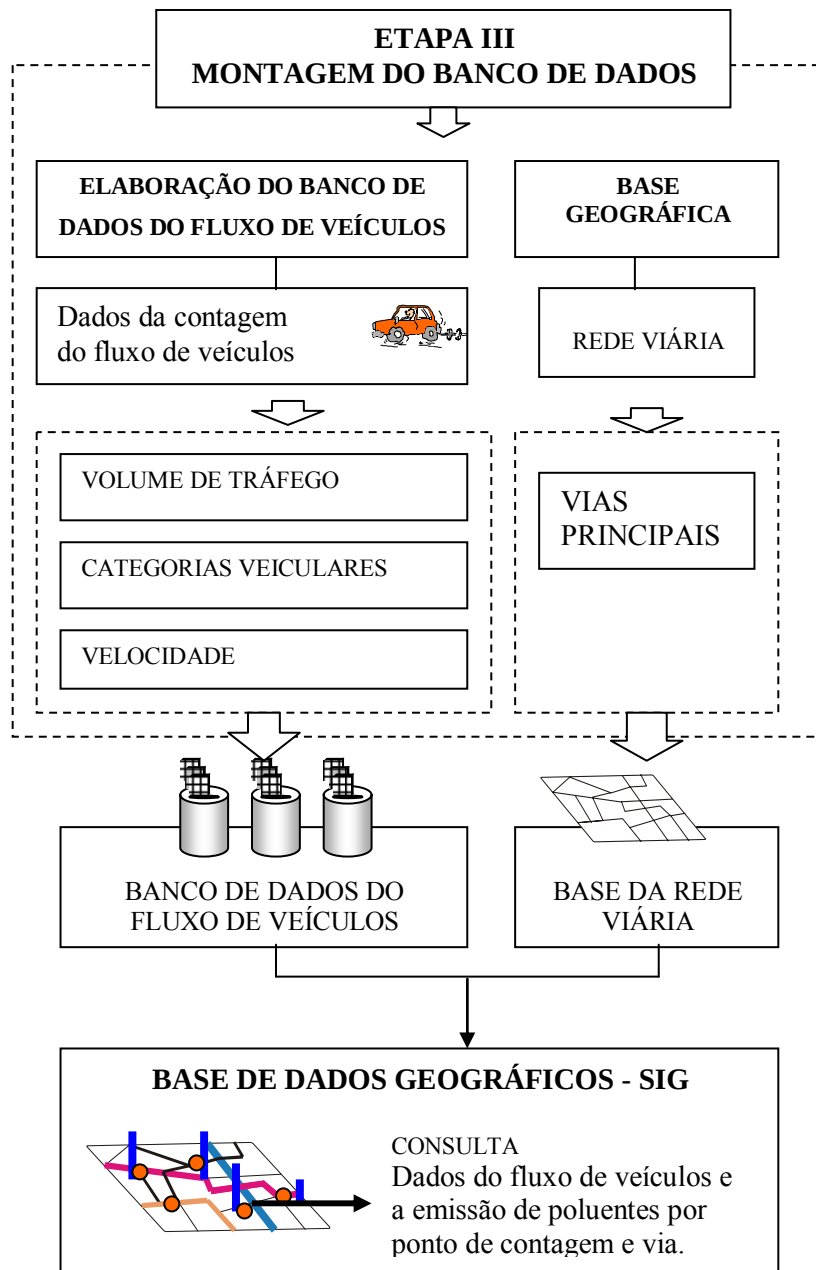


Figura 5.2 Processo da montagem do banco de dados.

5.2.4.1. Elaboração do banco de dados do fluxo de veículos

O banco de dados do fluxo de veículos será elaborado em planilhas de trabalho do Microsoft Excel (*.xls), pois esse *software* também permite trabalhar com arquivos de tipo Database(*.dbf). Esses arquivos são compatíveis com os *softwares* do SIG disponíveis no mercado, o que permitirá sua integração.

Os atributos dos dados contêm as informações para a representação das emissões na via, como: localização dos pontos de contagem volumétrica, categorias veiculares, volume de tráfego, velocidade de tráfego, etc.

5.2.4.2. Base geográfica

A base geográfica da área de estudo estará constituída pela rede viária na qual serão georeferenciados os dados dos fluxos de veículos e representadas as emissões. Na base geográfica gerada, deverão estar localizados os pontos onde foram realizadas as contagens volumétricas, a fim de cruzar com os atributos da rede viária do banco de dados gerado.

A rede viária será composta pelas vias principais da área em estudo. Na elaboração, devem se considerar, a fim de se obter um estudo mais preciso das emissões veiculares, os atributos principais na elaboração do banco de dados, tais como os apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 Atributos da base geográfica

ATRIBUTOS		
Características da via	tipo de via	
	extensão da via	
	capacidade de serviço	
	número de faixas	
	largura de faixa	
	número de faixa de pedestres	
	localização de semáforos	
Volume de tráfego de veículos	categoria veicular	
	contagem volumétrica	veículo/minuto
		veículo/hora
		veículo/dia
		veículo/mês
Velocidade do tráfego de veículos	veículo/ano	
	velocidade permitida na via	
	velocidade medida no ponto de contagem	
	velocidade média no trecho	

5.2.4.3. Base de dados geográficos

Usando os SIG, pode-se armazenar, recuperar, manipular, simular e representar graficamente os dados georeferenciados das vias, fluxo de veículos, emissões dos poluentes e outros que possam gerar novas informações. A base de dados geográficos será gerada utilizando um dos *softwares* dos Sistemas de Informações Geográficas, tais como

TransCAD®, ArcGis®, ArcView®, Spring®, TerraLib®. A base de dados geográficos será composta pelo cruzamento do banco de dados dos fluxos de veículos e a base geográfica.

O banco de dados geográfico permite a atualização contínua das informações geradas, garantindo maior precisão. Por meio da projeção e sobreposição das informações desejadas sobre a base geográfica, são elaborados mapas temáticos sobre a poluição veicular.

5.2.5. Etapa V: Determinação da emissão veicular

Realizadas as etapas anteriores, nessa etapa determinar-se-á a emissão veicular da área em estudo. A quantificação das emissões veiculares nas vias será determinada em função da caracterização da frota veicular, do tráfego de veículos e dos fatores de emissão para os poluentes em estudo (CO e NO_x), como apresentada na Figura 5.3.

5.2.5.1. Fluxo de veículos

Do volume total obtido em cada ponto de contagem do fluxo de veículos nas vias em estudo, pode-se obter a proporção de veículos em função de: categoria veicular, tipo de combustível e idade. Por exemplo, do volume total de veículos obtidos na contagem, deve-se calcular a porcentagem de veículos leves movidos a gasolina, veículos pesados, etc. A distribuição permitirá a aplicação do fator de emissão para essa proporção de volume calculado e, assim, determinar a quantidade de poluentes emitidos nas vias.

5.2.5.2. Fatores de emissão

Os fatores de emissão, de acordo com Murgel *et al.* (1987), são valores de emissão obtidos através de cálculos teóricos ou medições reais, sendo específico para um dado poluente e típico de um determinado modelo, classe ou frota de veículos. É expresso em gramas do poluente por quilômetro rodado (gramas/km).

Considerando a definição de Murgel *et al.* (1987), a metodologia propõe que os fatores de emissão sejam caracterizados com base na distância percorrida (em g/km) e determinados para cada categoria de veículos, tamanho, idade e tipo de combustível, sob situações de

tráfego diversas (velocidade). Aplicando esses fatores de emissão aos volumes de tráfego medidos e considerando as diferentes categorias de veículos, é possível obter a quantidade de poluentes emitidos na via em estudo.

O objetivo principal deste item é enfatizar a necessidade de utilização de parâmetros reais do tráfego e dos fatores de emissão dos veículos brasileiros, demonstrando que a utilização de modelos e fatores estrangeiros podem gerar previsões muito distantes da realidade. Dessa forma, na metodologia propõe utilizar os valores referenciais de emissão veicular obtidos por Filizola (2005), os quais representam as condições reais das cidades brasileiras.

Filizola (2005), como explicado no capítulo 3 na seção 3.4.4, identificou valores referenciais dos níveis de emissão de HC, CO, CO₂ e NO_x para veículos automotores leves de ciclo Otto em condições reais de operação. Ressalta-se que os valores obtidos por Filizola (2005) representam um tipo de veículo leve em condições reais de operação, avaliando o comportamento do veículo segundo o ciclo de condução, as características da via, modo de condução do veículo e funcionalidade do catalisador.

A proposta metodológica utiliza esses valores para a estimativa das emissões para a categoria de veículos leves movidos a gasolina, apresentados na Tabela 5.3. Para estimativa das emissões dos veículos leves comerciais e veículos pesados, devem obter-se os valores referenciais nacionais para cada uma dessas categorias veiculares em condições reais de operação, a fim de determinar a emissão veicular com maior precisão e representar a realidade da dinâmica urbana brasileira.

Tabela 5.3 Valores referenciais de emissão de gases para veículos leves do ciclo Otto.

CENÁRIO	CO (g/km)	NO _x (g/km)
Cenário otimista	1,16	0,10
Cenário normal	2,00	0,21
Cenário pessimista	2,83	0,32

Fonte: Filizola (2005).

Ressalta-se que, os valores referenciais de emissão veicular obtidos por Filizola (2005) podem ser aplicados a quaisquer das cidades do Brasil, já que o ciclo de condução representa as condições reais de operação do veículo leve a gasolina. Neste trabalho serão aplicados os fatores de CO e NO_x por serem regulamentados no país.

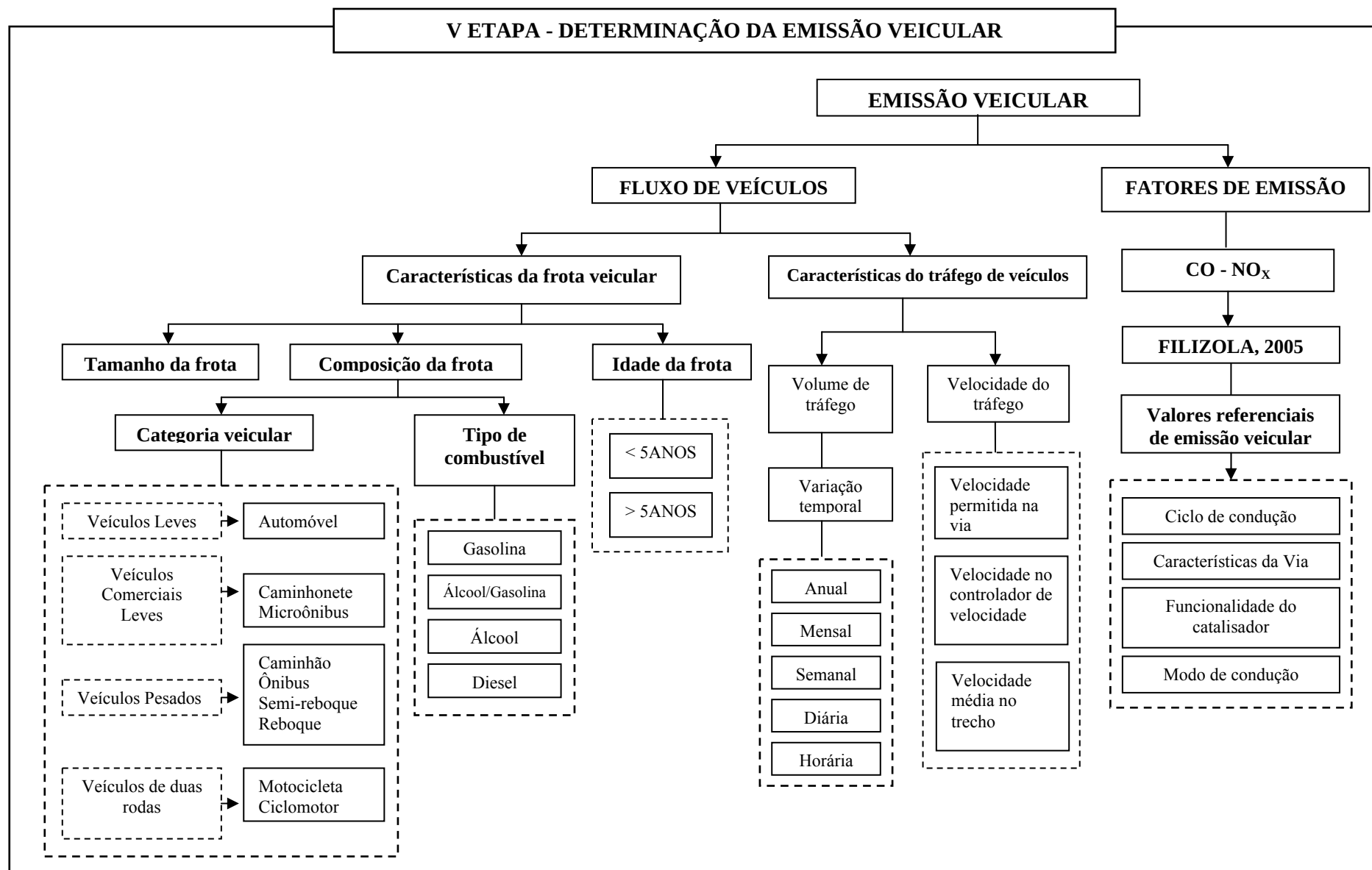


Figura 5.3 Determinação da Emissão Veicular.

5.2.5.3. Cálculo das emissões

A emissão total nas vias será calculada para cada poluente em função do número de veículos em um período de tempo estudado (15 minutos, hora, dia, etc.). Esses cálculos não se referem aos níveis de poluição altos ou baixos, servindo apenas para a detecção das condições críticas de emissão e suas relações com a contagem de tráfego.

A emissão total calculada na via será expressa em g(t)/km (gramas pelo período de tempo t por km de via). Como exemplo, para um período de tempo t equivalente a uma hora, a emissão será expressa em g.h/km (gramas por hora por km de via).

Na estimação da emissão, FE_i é o fator de emissão do poluente i , que pode ser o CO, NO_x. Esse fator de emissão deve corresponder à categoria do veículo, tipo de combustível e ano de fabricação. Tendo os fatores de emissão dos respectivos poluentes nas condições estabelecidas a estudar, determina-se a emissão para a via.

A quantificação das emissões será calculada aplicando a equação 5.1. Na equação, FE_i representa o fator de emissão (g/km) do poluente i e N_{jt} é o fluxo de veículos na via ou ponto de contagem j , em um período de tempo t expresso em veículo/h, veículo/dia, veículo/mês, etc. E_{ijt} é a quantidade emitida do poluente i , durante o período de tempo t de estudo de uma determinada via j .

$$E_{ijt} = FE_i \times N_{jt} \quad \text{Equação (5.1)}$$

5.2.6. Etapa VI: Representação Espacial dos Níveis de Emissão

Construída a base de dados geográficos e tendo os valores calculados dos níveis de emissão veicular, devem os mesmos ser representados espacialmente. A base de dados é um importante componente de um SIG, compreendendo dois tipos: dados espaciais e descritivos. Os dados espaciais descrevem a localização, a forma e a relação entre as feições geográficas. Esses dados são localizados no espaço por meio de um sistema de coordenadas, de atributos e parâmetros espaciais (topologia).

Após da definição do modo de representação espacial das emissões veiculares, criam-se cenários de emissão, que representam as diversas condições e variáveis de estudo (tempo, velocidade, tipo de combustível, etc.). Os cenários criados para os poluentes em estudo (CO e NO_x) são: cenário otimista, cenário pessimista e cenário normal.

Como exemplo, apresenta-se, na Tabela 5.4, a criação de cenários para a emissão veicular do CO e NO_x. Tendo:

- cenário otimista refere-se a uma situação que considera veículos novos, em bom estado de conservação e boas condições de tráfego;
- cenário pessimista considera veículos antigos, em má conservação e condições adversas de circulação nas vias;
- cenário normal considera uma situação intermediária, veículos novos e velhos em condições normais de tráfego.

Tabela 5.4 Criação de cenários de emissão para CO e NO_x.

Cenários	Características do cenário			Fator de emissão Filizola (2005) (g/km)	
	Idade da frota	Modo de condução	Funcionalidade do catalisador	CO	NO _x
Cenário pessimista	antigos	agressiva	catalisador antigo	2,83	0,32
Cenário normal	intermediário	normal	catalisador modificado	2,00	0,21
Cenário otimista	novos	defensivo	catalisador novo	1,16	0,10

Criados os cenários, podem-se realizar comparações entre eles para identificar os níveis críticos de emissão dos poluentes em estudo.

5.2.7. Etapa VII: Identificação dos Níveis Críticos de Emissão

Realizada a representação espacial da emissão e criação de cenários, identificaram-se os níveis críticos de emissão dos poluentes derivados por veículos automotores nas vias urbanas em estudo. As informações geradas possibilitam identificar a localização e análise das máximas emissões veiculares. A análise das áreas com máximos níveis de emissões permite determinar áreas de risco como elementos fundamentais no planejamento dos transportes e no controle da poluição do ar em áreas urbanas.

5.3. TÓPICOS CONCLUSIVOS

A presente metodologia é de caráter estratégico, a qual se caracteriza por ser uma proposta que permite a utilização de um menor número de dados (fluxo veicular e fatores de emissão), sendo representativos e amplamente referenciados na literatura.

A aplicação da metodologia proposta aplica os fatores de emissão obtidos por Filizola (2005), estes valores foram obtidos em condições reais de operação, o que permite a aplicação desses fatores nas cidades brasileiras.

A utilização aprofundada de ferramentas para modelagem da poluição (dispersão) não é motivo principal da metodologia. Espera-se que, em próximas pesquisas, possam ser desenvolvidos modelos baseados em dados locais (dados climáticos) e, com isso, seja completado o presente trabalho.

6. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ESTUDO DE CASO

6.1. APRESENTAÇÃO

Como apresentado no capítulo anterior, a proposta metodológica tem como objetivo principal identificar e representar espacialmente os níveis de emissão de gases de veículos automotores nas áreas urbanas. Atualmente, as cidades brasileiras, entre elas Brasília, apresentam problemas ambientais que precisam ser monitorados por meio de instrumentos sistêmicos de utilidade para que os gestores e planejadores possam procurar soluções desses problemas.

O seu sistema viário do Plano Piloto apresenta vários pontos críticos devido ao grande fluxo de veículos que vem das cidades satélites, entre outros fatores. Isso requer um tratamento prioritário, visto que o aumento da frota de veículos particulares, associados com a falta de manutenção, provoca emissões visivelmente sentidas pela população.

Dessa forma, o presente capítulo tem como objetivo validar a metodologia aplicando-a no estudo de caso da cidade de Brasília, Plano Piloto. Para isso, foram utilizados dados da contagem volumétrica dos controladores eletrônicos de velocidade das vias do Plano Piloto – DF e valores referenciais de emissão veicular desenvolvidos por Filizola (2005), com o qual foram identificados os níveis de emissão de CO e NO_x. A aplicação dá continuidade às pesquisas desenvolvidas pelo Laboratório de Monitoramento e Controle Ambiental em Transportes (LaMCAT) do Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes (CEFTRU) da Universidade de Brasília (UnB).

6.2. CARACTERIZAÇÃO DO PLANO PILOTO - DF

O Distrito Federal é formado pelo Plano Piloto (Brasília) e as cidades satélites, divididos em 28 Regiões Administrativas (RA's), possuidoras de administração própria: Brasília, Gama, Taguatinga, Águas Claras, Brazlândia, Planaltina, Paranoá, Núcleo Bandeirante, Ceilândia, Guará, Cruzeiro, Samambaia, Santa Maria, São Sebastião, Recanto das Emas, Lago Sul, Lago Norte, Varjão, Riacho Fundo, Riacho Fundo II, Candangolândia, Sudoeste/Octogonal, Parkway, Setor Complementar de Indústria e Abastecimento, Sobradinho,

Sobradinho II, Jardim Botânico e Itapuã. Observa-se, na Figura 6.1, a cidade de Brasília. A área em marrom representa o polígono de tombamento, que inclui o Plano Piloto, Setor Sudoeste, Octogonal, Vila Planalto, Setor Militar Urbano, Cruzeiro Velho e Cruzeiro Novo.

O Plano Piloto foi projetado pelo urbanista Lúcio Costa com inauguração em 21 de abril de 1960. O urbanista concebeu o Plano Piloto na forma de um grande avião composto pelo Eixo Monumental, Esplanada dos Ministérios e as Asas Norte e Sul. Os principais setores de atividade são: Setor Bancário, Setor Comercial, Setor Hospitalar, Setor de Diversões, Setor de Autarquias, Setor de Clubes, Setor de Embaixadas, áreas residenciais, comerciais locais, dentre outras. A Figura 6.1 mostra o mapa do Plano Piloto – DF.

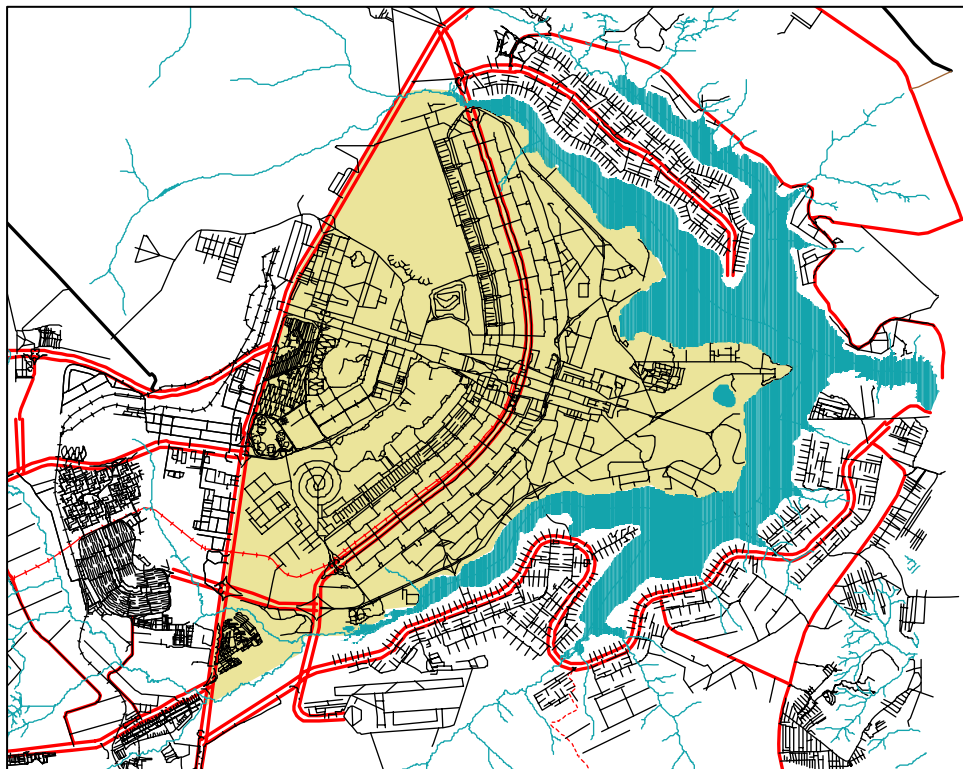


Figura 6.1 Mapa do Plano Piloto – DF.

Fonte: Barros (2006).

No Plano Piloto, as ruas e avenidas, em geral, são largas, bem conservadas e com relativa fluência no tráfego dos veículos. As principais vias são: Eixo Monumental, Eixo Rodoviário, Avenida W3 e Avenida L2. Ainda que com avenidas largas e bom fluxo de tráfego, ao longo do tempo vêm-se experimentando consideráveis congestionamentos em função do constante aumento da frota de veículos que circulam na cidade. Verifica-se que,

em 1995, o Distrito Federal possuía uma frota de veículos registrados no Departamento de Trânsito – DETRAN de 436.000 automóveis. Após 11 anos, essa frota cresceu 88%, alcançando a marca de 821.352 automóveis. Esse aumento significativo de veículos, no Distrito Federal, reflete diretamente no aumento de congestionamentos das principais vias e, conseqüentemente, na emissão de gases poluentes na atmosfera. Em função disso, para efeito de estudo das emissões, foram consideradas especificamente as principais vias: Eixo Monumental, Eixo Rodoviário (Rodovia Estadual DF-002), Avenida W3 e Avenida L2.

6.3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

O estudo de caso adotou a metodologia, proposta e apresentada no capítulo anterior, para identificar e representar espacialmente os níveis de emissão do monóxido de carbono (CO) e óxido de nitrogênio (NO_x) originados por os automóveis (veículos leves). A metodologia aplicada engloba as etapas a seguir.

6.3.1. ETAPA I: DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Essa etapa delimitou como estudo as principais vias do Plano Piloto, sendo o Eixo Monumental, Eixo Rodoviário (Rodovia estadual DF-002), Avenida W3 e Avenida L2. Essas avenidas, apesar de largas, relativamente planas e com poucas interseções em nível, têm apresentado congestionamentos nas horas de pico, devendo-se principalmente ao aumento da frota veicular do Distrito Federal. Atualmente, 800 mil veículos circulam pelo Plano Piloto, dos quais 666 mil são automóveis. As sete principais rodovias do DF despejam diariamente, no Plano Piloto, cerca de 300 mil veículos. Como consequência desse aumento da frota, há os congestionamentos nas vias, além da crescente poluição do ar. A poluição veicular, como visto no capítulo 1, pode causar sérios danos à saúde da população, bem como a poluição do meio ambiente.

Nesse contexto, torna-se importante identificar os níveis de poluição veicular nas principais vias do Plano Piloto, já que por elas trafega a maior parte dos automóveis do DF. A Figura 6.2 apresenta as principais vias de estudo do Plano Piloto – DF.

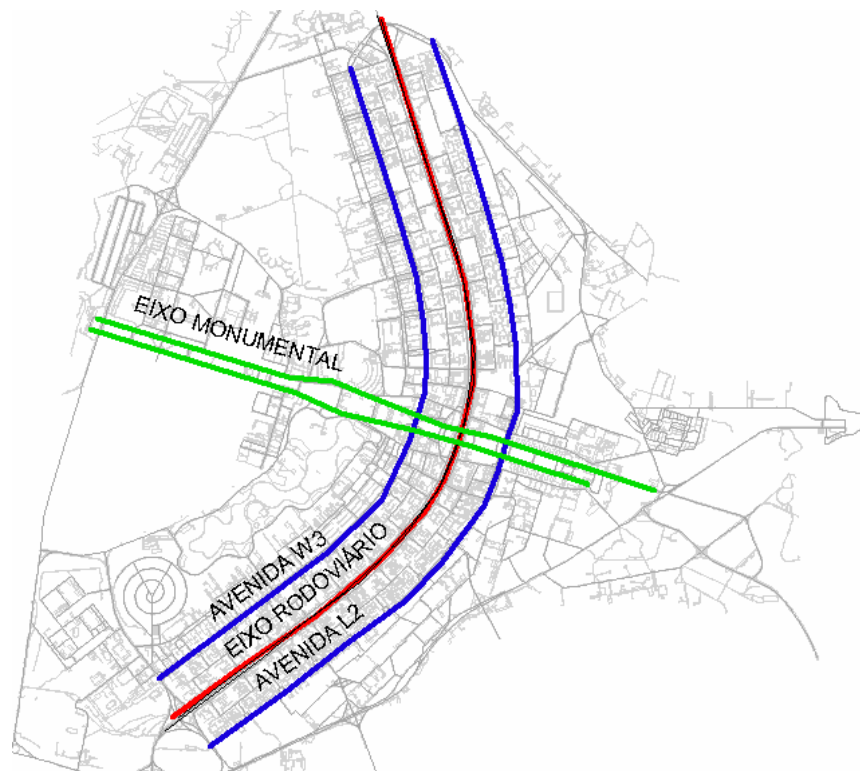


Figura 6.2 Principais vias de estudo do Plano Piloto – DF.

6.3.2. ETAPA II: IDENTIFICAÇÃO DO FLUXO DE VEÍCULOS

Para identificar o fluxo de veículos em estudo, caracterizou-se a frota nacional com a finalidade de conhecer a representatividade do fluxo veicular do Plano Piloto com relação à frota nacional existente, segundo o tamanho, composição, tipo de combustível e idade da frota. Desse modo, este item é dedicado à caracterização da frota nacional e da frota do Plano Piloto, com ênfase nos automóveis.

6.3.2.1. Caracterização da frota veicular nacional

Os veículos leves representam a maioria dos veículos automotores na frota brasileira. De acordo com a DENATRAN (2005), a frota brasileira é composta por 38.517.144 veículos. A ANFAVEA (2005) estima que 79,81 % da frota nacional seja composta por automóveis (veículos leves), ficando o restante da composição dividida entre comerciais leves, ônibus e caminhões. Como observado na Figura 6.3, a composição por segmento é 34,59 % para automóveis compactos; 30,23% para 1000 cc; 25,65 % para sedãs; 8,35% para *station wagons* (SW) e 1,18% para as demais categorias (conversíveis, esportivos, minivans e vans).

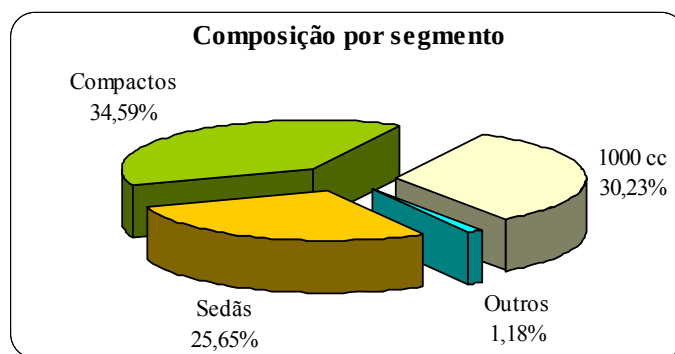


Figura 6.3 Composição por segmento da frota nacional.

Fonte: Modificado de FENABRAVE (2005).

A frota nacional de automóveis é, em sua grande maioria, composta por veículos movidos a gasolina, como observado na Figura 6.4. Isso pode ser explicado pelo fato de que a produção de veículos a álcool, no Brasil, ter se iniciado somente a partir de 1979 e pela crise do álcool em 1990, que, desde então, reduziu drasticamente as vendas dessa categoria. A adoção da tecnologia bicomcombustível (que permite o motor funcionar com qualquer proporção de álcool ou gasolina no tanque) por vários fabricantes nacionais em 2003, tende a alterar a composição da frota nacional nos próximos anos. A FENABRAVE (2005) destaca que, no primeiro semestre de 2004, 14,4% dos emplacamentos realizados corresponde aos veículos bicomcombustível.

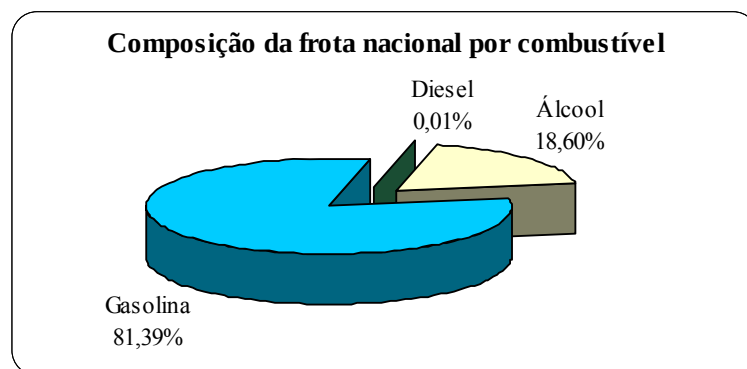


Figura 6.4 Composição da frota de automóveis nacionais por combustível.

Fonte: Modificado de ANFAVEA (2005).

A partir do estudo da composição da frota nacional, verifica-se que um veículo leve (automóvel) (79,81 %), compacto (34,59 %), movido a gasolina (81,39 %) representa, satisfatoriamente, uma parcela da frota nacional em suas respectivas categorias. Isso

permitiu constatar que a amostra utilizada por Filizola (2005) é representativa e que possibilita a aplicação dos níveis de emissão veicular no presente estudo.

Em relação à idade da frota, segundo o DENATRAN (2005), 24.319.036 dos veículos registrados possuem oito ou mais anos de uso, valor que significa 63,18 % da frota nacional. A idade média estimada é de 12,5 anos (FENABRAVE, 2005). A distribuição da frota pelo ano de fabricação no DF pode ser observada na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 Composição da frota por ano de fabricação.

ANO DE FABRICAÇÃO								
<1997	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	set/04
21.833.487	2.485.549	2.028.617	1.687.113	2.111.073	2.331.569	2.294.631	2.221.660	1.523.445

Fonte: Modificado de DENATRAN (2005).

6.3.2.2. Caracterização da frota veicular no Distrito Federal

Para estudo do Plano Piloto – DF foram utilizados os dados da frota veicular de 2004 fornecida pelo DETRAN-DF e dados do Anuário Estatístico da ANFAVEA. Os dados do ano de 2004 foram utilizados por coincidir com os dados levantados no período da pesquisa para obtenção dos valores referenciais de emissão de gases de veículos automotores leves de ciclo Otto, por Filizola (2005).

A evolução da frota do DF pode ser observada na Figura 6.5, onde também se observa o aumento de aproximadamente 450 mil veículos em 1995 para 782 mil veículos em 2005, período de apenas 10 anos. Segundo a ANFAVEA (2005), os veículos do DF representam 2,26 % da frota nacional.

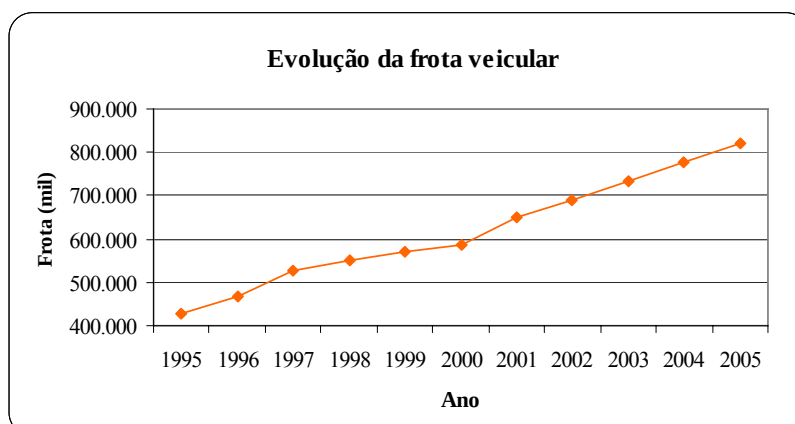


Figura 6.5 Evolução da frota de veículos registrada no DF.

Fonte: DETRAN (2005).

Observa-se na Figura 6.6, segundo o DETRAN (2005), a frota de veículos registrada por tipo (categoria veicular) do mês de abril de 2004. 85,5% da frota são automóveis e camionetas (veículos leves) e 14,5% da frota é composta por veículos pesados e comerciais leves (caminhões, ônibus, caminhonetes, etc.). Assim, verifica-se que, no DF, os automóveis têm uma participação importante na emissão de poluentes.

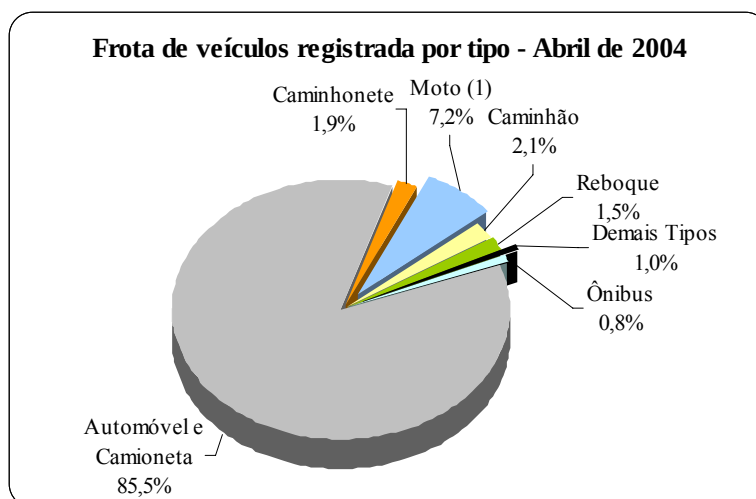


Figura 6.6 Frota de veículos registrada por tipo do DF - Abril 2004.

Fonte: Modificado DETRAN (2005).

No que tange a idade da frota do DF, pode-se observar, na Figura 6.7, que mais de 140.000 veículos são do ano de fabricação inferior a 1989, podendo ser uma porcentagem menor se compararmos com a frota de menos de 5 anos de fabricação. Como visto na metodologia proposta, o intervalo de idade de estudo está relacionada com a vida útil do catalisador.

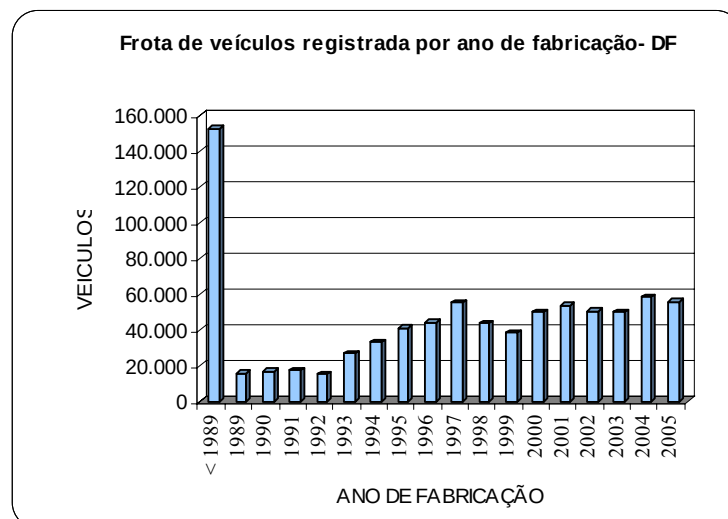


Figura 6.7 Frota de veículos registrada por Ano de Fabricação, DF.

Fonte: DETRAN (2005).

Dessa forma, analisou-se a frota segundo o ano de fabricação (Tabela 6.2), obtendo-se 50% dos automóveis apresentando uma vida útil maior que cinco anos (>5anos), e 27,54% da mesma frota apresentando idade inferior a 5 anos. Da mesma forma, verificou-se que 61,1% da frota circulante no DF têm idade superior a 5 anos, o que pode refletir no aumento dos níveis de emissão veicular.

Tabela 6.2 Frota de veículos registrada por ano de fabricação (%), segundo o tipo, DF.

TIPO DE VEÍCULO	TOTAL (%)	ANO DE FABRICAÇÃO	
		>5 ANOS %	<5 ANOS %
AUTOMÓVEL	77,6	50,0	27,54
MOTOCICLETA	7,9	2,1	5,82
CAMIONETA	6,5	5,2	1,29
CAMINHONETE	2,6	0,4	2,17
CAMINHÃO	2,0	1,4	0,69
REBOQUE	1,5	0,9	0,62
ÔNIBUS	0,7	0,6	0,14
MICROÔNIBUS	0,6	0,3	0,35
SEMI-REBOQUE	0,2	0,1	0,09
OUTROS	0,2	0,0	0,16
TOTAL	100,0	61,1	39

Fonte: Modificado de GDF/SESPDS/DETRAN (2005).

O tipo de combustível dos veículos influencia as emissões de poluentes, conforme visto no capítulo 2, sendo uma das variáveis principais para a estimação das emissões veiculares no estudo de caso. Observa-se, na Figura 6.8, que a frota do DF, segundo o tipo de combustível, é composta por 80,62% de veículos a gasolina. Dessa porcentagem, observa-se que 71,83% são automóveis (veículos leves), sendo uma amostra representativa para o estudo das emissões veiculares (Tabela 6.3).

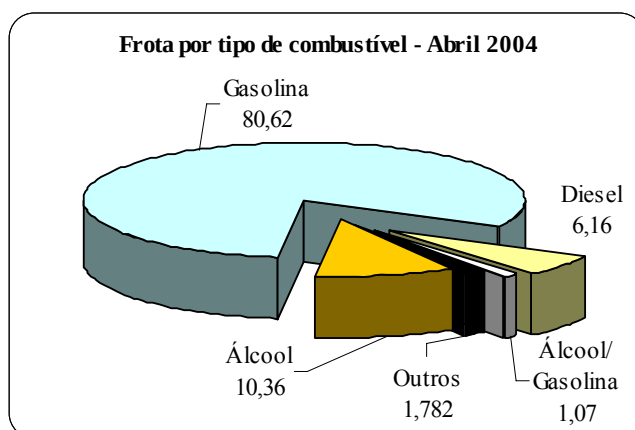


Figura 6.8 Frota registrada por tipo de combustível do DF – Abril 2004.

Fonte: Modificado DETRAN (2005).

Tabela 6.3 Tipo de combustível por categoria veicular.

CATEGORIA VEICULAR		TIPO DE COMBUSTÍVEL (%) DA FROTA 2004					
		ÁLCOOL	GASOLINA	DIESEL	ALCOOL/ GASOLINA	OUTROS	% Total
Veículos Leves	Automóvel	10,34	71,83	1,79	0,92	0,01	84,89
Veículos Comerciais Leves	Caminhonete	0,02	1,252	1,37	0,15	0,001	2,79
	Microônibus						
Veículos Pesados	Caminhão	0,001	0,018	3	-	1,77	4,79
	Ônibus						
	Reboque						
	Semi-reboque						
	Outros						
Veículos de duas rodas ou assemelhados	Motocicleta	0,001	7,52	-	-	0,001	7,52
TOTAL		10,36	80,62	6,16	1,07	1,782	100,0

Fonte: Modificado de DETRAN (2005).

Com a caracterização da frota de veículos, definiu-se a amostra em estudo, sendo automóveis movidos a gasolina com idade superior a 5 anos, considerando-se 71,83% da

frota do DF como amostra para estimar os dados do fluxo de veículos para cálculo das emissões. Essa consideração é decorrente da falta de dados da frota veicular no Plano Piloto.

6.3.3. ETAPA III: LEVANTAMENTO DO BANCO DE DADOS DO FLUXO VEICULAR

Para a realização desse estudo, foram coletados dados de fluxo de veículos de 82 controladores eletrônicos de velocidade, 27 radares fixos – DTR (pardais) e 55 radares eletrônicos de avanço de sinal – ASV (registradores de infrações em semáforos), situados na rede viária do Plano Piloto. Os dados dos fluxos de veículos foram fornecidos pelo Departamento de Trânsito do Distrito Federal – DETRAN – DF. A Figura 6.9 demonstra a distribuição espacial desses equipamentos.

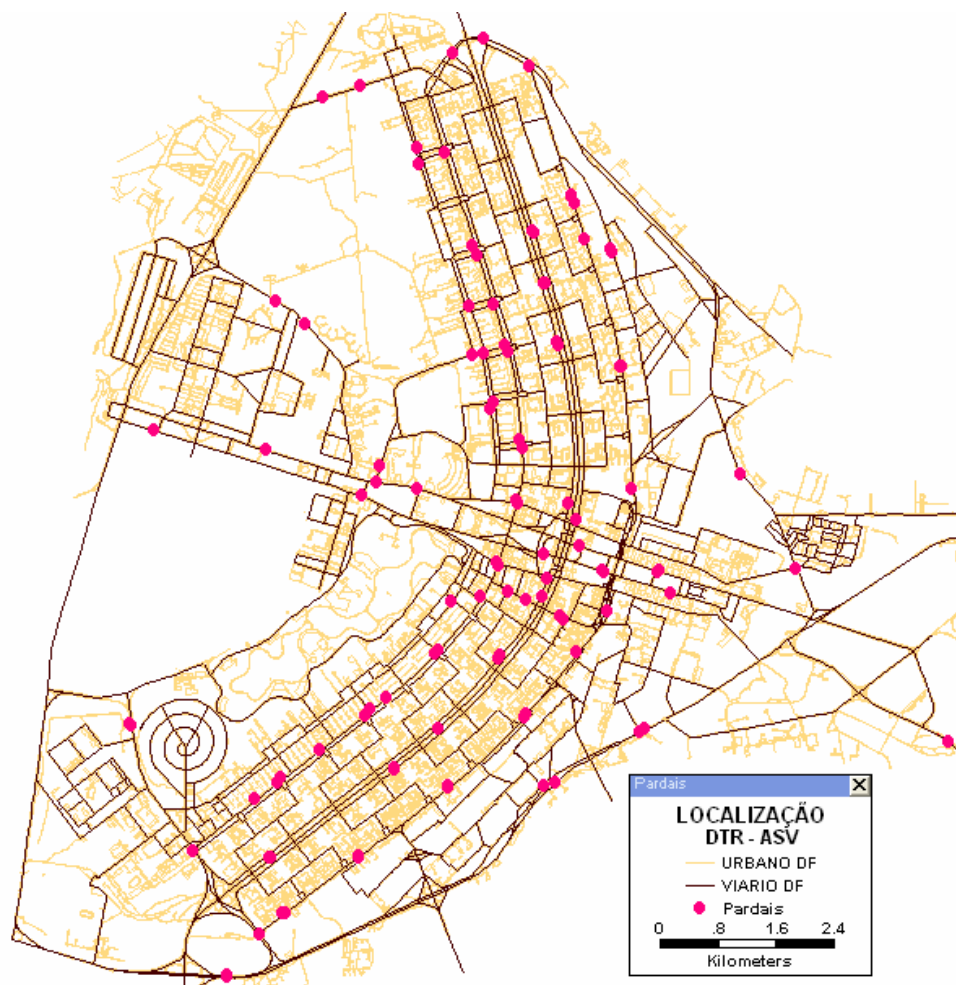


Figura 6.9 Distribuição espacial dos controladores estudados no Plano Piloto - DF.

As Tabelas 6.4 a 6.6 apresentam a localização dos controladores eletrônicos em estudo.

Tabela 6.4 Localização dos radares eletrônicos de avanço de sinal (ASV).

LOCALIZAÇÃO	NOME
L2 SUL SQS 408 SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 93	ASV001
L2 SUL SGAS 608 SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 93	ASV002
W3 NORTE SEPN 510 SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 166	ASV003
W3 NORTE SCLRN 711 SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 166	ASV004
W4 NORTE SCR N 706 SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 169	ASV005
W3 SUL SCS SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 54	ASV007
W3 SUL SHS SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 54	ASV008
W3 NORTE SHN SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 158	ASV009
W3 NORTE SCN SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 158	ASV010
W3 SUL CRS 505 SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 59	ASV024
W3 SUL HIGS 704 SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 59	ASV025
L2 SUL SAS ALT QD 06 SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 82	ASV026
VIA S3 SBS ALT QD 04 SENT. SBS/L2 SUL SEMÁFORO CRUZ 15	ASV027
L2 NORTE ALT SQN 406 SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 203	ASV028
L2 NORTE ALT SGAN 605 SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 204	ASV029
VIA S1 RODOV RETORNO N1/S1 ALT. SDS SENT. W3/L2 SUL SEMÁFORO CRUZ 381	ASV036
VIA N1 RODOV RETORNO S1/N1 ALT. TEATRO NAC SENT. L2/W3 NORTE SEMÁFORO CRUZ 383	ASV037
W3 NORTE SEPN 506 SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 162	ASV038
W3 NORTE SCLRN 707 SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 162	ASV039
W3 NORTE SCR N 502 SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 160	ASV040
W3 NORTE SCLRN 703 SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 160	ASV041
L2 NORTE SEN 401 SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 198	ASV042
EIXO L NORTE ALT. QD 01 SBN SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 146	ASV043
W4 SUL SEPS 703/903 SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 79	ASV044
VIA ERSW ALT. ALERIA DOS ESTADOS SENT. SCS/SBS SEMÁFORO CRUZ 16	ASV045
L2 SUL SQS 412 SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 99	ASV046
L2 SUL SGAS 612 SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 99	ASV047
VIA S3 SMHS 301 SENT. W3/L2 SUL SEMÁFORO CRUZ 23	ASV048
W3 SUL CRS 511 SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 68	ASV050
W3 SUL SRTVS 702 SUL SENT. NORTE/SUL	ASV051
L2 SUL SQS 404 SENT. NORTE/SUL	ASV052
L2 SUL SGAS 604 SENT. SUL/NORTE	ASV053
W3 SUL SHIGS 714 SENT. NORTE/SUL	ASV054
W5 NORTE SEPN 914 SENT. NORTE/SUL	ASV055
W4 NORTE SHIGN 708/709 SENT. SUL/NORTE	ASV056
VIA SRPN ALT CODEPLAN SENT. AUTOD/N1	ASV057
VIA N1 ALT CENTRO CONVENCÕES SENT. ESPLAN/RODOF	ASV058
VIA N1 ALT TRIBUNAL CONTAS SENT. ESPLAN/RODOF	ASV059
VIA ERNW ALT CINE SENT. NORTE/SUL	ASV060
W3 SUL CRS 513 SENT. SUL/NORTE	ASV064
VIA S1 ALT TJDF SENT. RODOF/ESPLAN	ASV066
VIA LIGACAO W3 NORTE COM EPAA SENT. AUTODROMO/W5 NORTE	ASV067
L2 SUL PROX QD 601 SENT. SUL/NORTE	ASV068
VIA S3 SBS SENT. L2/W3 SUL	ASV069
VIA L4 COM N2 NORTE SENT. VIA EPP/VILA PLANALTO	ASV070

Fonte: DETRAN (2005).

Tabela 6.5 Localização dos radares eletrônicos de avanço de sinal (ASV) (continuação).

LOCALIZAÇÃO	NOME
VIA S3 SCS ALT QD 01 SENT. L2/W3 SUL	ASV071
VIA LIGACAO L4 SUL COM ST POL SUL SENT. L4 SUL/ST POL SUL	ASV072
W3 SUL HIGS 707 SENT. NORTE/SUL	ASV073
VIA S1 ALT. CRUZ. S1/L2 SUL SENT. ROD/ESPLA SEMÁFORO CRUZ. 02	ASV081
VIA S1 ALT. CRUZ. S1/L2 SUL SENT. ROD/ESPLA SEMÁFORO CRUZ. 02	ASV082
VIA S1 ALT. TJDF SENT. RODOF/ESPLAN	ASV083
VIA S1 RODOV. RETORNO N1/S1 ALT. SDS SENT. W3/L2 SUL SEMÁFORO CRUZ 381	ASV084
VIA N1 RODOV. RETORNO S1/N1 ALT. TEATRO NAC. SENT. L2/W3 NORTE SEMÁFORO CRUZ 383	ASV085
VIA N1 ALT. CENTRO CONVENCOES SENT. ESPLAN/RODOF.	ASV086
VIA N1 ALT. TRIBUNAL CONTAS SENT. ESPLAN/RODOF.	ASV087

Fonte: DETRAN (2005).

Tabela 6.6 Localização dos radares fixos (DTR).

LOCALIZAÇÃO	NOME
L2 SGAN 611 SENT. SUL/NORTE	DTR020
L2 SQN 410 SENT. NORTE/SUL	DTR021
VIA LIG W3-L4 N PROX. P. BRAG. SENT. L4/W3	DTR034
VIA LIG W3-L4 N PROX. P. BRAG. SENT. W3/L4	DTR035
L4 SUL FRT EMB. ALEMANHA SENT. NORTE/SUL	DTR042
L4 SUL FRT BEM. ALEMANHA SENT. SUL/NORTE	DTR043
EIXO L SQN 210 SENT. NORTE/SUL	DTR132
EIXO L SQN 210 SENT. SUL/NORTE	DTR133
L4 NORTE PROX. FUZ. NAVAIS SENT. NORTE/SUL	DTR164
L4 NORTE PROX. FUZ. NAVAIS SENT. SUL/NORTE	DTR165
EIXO W SQS 103 SENT. SUL/NORTE	DTR171
EIXO W SQN 106 SENT. NORTE/SUL	DTR178
EIXO W SQN 106 SENT. SUL/NORTE	DTR179
W4 HCGN 715 SENT. SUL/NORTE	DTR182
W5 SGAN 904 SENT. NORTE/SUL	DTR183
VIA ST. POL. SUL FTE MEP. SENT. EIXO/CRUZ	DTR186
VIA ST. POL. SUL FTE MEP. SENT. CRUZ/EIXO	DTR187
L2 SQS 415 SENT. NORTE/SUL	DTR188
L2 SGAS 615 PROX. COR. JESUS SENT. SUL/NORTE	DTR189
VIA N1 E. MONUM. ALT. SMU SENT. CONGR/RODOF	DTR195
VIA S1 E. MONUM. CRUZ. VELHO SENT. RODOF/CONGR	DTR203
EIXO L SQS 209 SENT. NORTE/SUL	DTR205
EIXO L SQS 209 SENT. SUL/NORTE	DTR206
L3 NORTE Q.610 BL K COL. SENT. SUL/NORTE	DTR209
VIA JK 500M ANTES DO INICIO DA PONTE SENT. PLANO PILOTO/LAGO SUL	DTR224
EPAA 400M APÓS O CEMPING DE BRASILIA SENT. EIXO MONUMENTAL/EPIA	DTR226
EPAA A 200M DO ACESSO AO Q.G. DO EXERCITO SENT. EPIA/EIXO MONUMENTAL.	DTR229

Fonte: DETRAN (2005).

6.3.4. CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS NO PLANO PILOTO

Nessa etapa, foi estudado o comportamento do tráfego de veículos no Plano Piloto. Para determinar a emissão, é necessária a obtenção de informações que descrevam o tráfego de veículos, como o volume e a velocidade do tráfego nas vias em estudo. No caso do Plano Piloto, essa informação é medida pelos radares dos controladores de velocidade nas principais vias, sendo principal variável de estudo o volume de tráfego dos veículos. Posteriormente realizou-se uma análise da variação temporal, feita por meio de uma simplificação do volume total que só inclui veículos leves a gasolina.

6.3.4.1. Volume de tráfego de veículos no Plano Piloto

Os radares dos controladores eletrônicos de velocidade medem o fluxo de veículos a cada 15 minutos. Essa contagem volumétrica é classificada por porte veicular e velocidade. Por ser uma informação muito detalhada e extensa, dificultou a obtenção dessa informação para todos os radares em estudo. Por isso, resolveu-se considerar, nessa pesquisa, o fluxo total por controlador para, deste modo, estudar a variação temporal do fluxo de veículos no Plano Piloto.

Variação temporal do fluxo de veículos

Para analisar a variabilidade do fluxo de tráfego nos locais em que dispusesse de controladores eletrônicos, foram realizadas as seguintes estratificações:

- **Variação mensal:** os meses foram divididos em dois grupos: o primeiro para os meses de janeiro e fevereiro, uma vez que nestes meses há uma redução no fluxo de veículos da cidade, motivado pelo período de férias e deslocamento de pessoas para o litoral. O segundo grupo foi chamado de meses com fluxo normal, quando não existirem alterações visíveis do fluxo de tráfego, sendo considerados os meses de março a novembro, exceto o mês de julho e agosto.

Para que a análise dos fluxos veiculares seja confiável, os meses supracitados foram analisados minuciosamente com relação à totalidade e confiabilidade de suas informações. Verificou-se que na maioria dos meses havia ausência de dados de contagem, supondo-se ser devido falhas no funcionamento dos controladores, ou por

outro motivo qualquer, o que ocasionou a desconsideração dos mesmos. Definiu-se, portanto, o mês de abril para estudo do fluxo veicular, por ser o mês com informação mais completa e com fluxo normal.

- **Variação semanal:** a variação semanal foi estudada dividindo os dias da semana em três grupos: o primeiro é o dos dias típicos (terça, quarta, quinta-feira); os outros dias analisados foram os sábados e domingos. Uma vez analisado, definiu-se o dia típico de estudo, a quarta-feira (14 de abril), por ser um dia que não apresenta alterações visíveis no fluxo de tráfego (Figura 6.9).
- **Variação diária:** o fluxo de tráfego foi analisado para cada controlador estudado em períodos de uma hora, dessa forma, obteve-se a variação do fluxo veicular em cada ponto de contagem durante o dia. (Figura 6.9)

Como observado na Figura 6.9, a semana com menos variações no volume de veículos apresenta-se na semana de 11 até 17 de abril, pois esse mês apresentou feriados nas semanas anteriores e posteriores a essa data. Verifica-se a queda do volume de veículos nos sábados e domingos, sendo o volume menor a 20 mil veículos por dia. Apresenta-se um volume superior a 30 mil veículos por dia, o qual corresponde aos controladores localizados no Eixo Monumental (Via N1 Oeste, sentido Esplanada - Rodoferroviária), sendo registrados 41.497 veículos.

Outros pontos de destaque (observados na Figura 6.10) são as contagens do radar localizado na estrada do Setor Policial Militar Sul (sentido Eixo-Cruzeiro), registrando 39.996 veículos por dia, e a contagem na Avenida W3 Norte (SHN, sentido Sul-Norte) com 43.251 veículos no mês de abril. Verifica-se que um grande volume de veículos sai do Plano Piloto para as cidades satélites.

Para definir o volume de tráfego na variação mensal e semanal, optou-se por utilizar a contagem total de cada controlador de velocidade, sem considerar a classificação por categoria veicular, com o intuito de estudar o comportamento de tráfego em sua totalidade e, assim, poder identificar o dia típico no estudo das emissões veiculares.

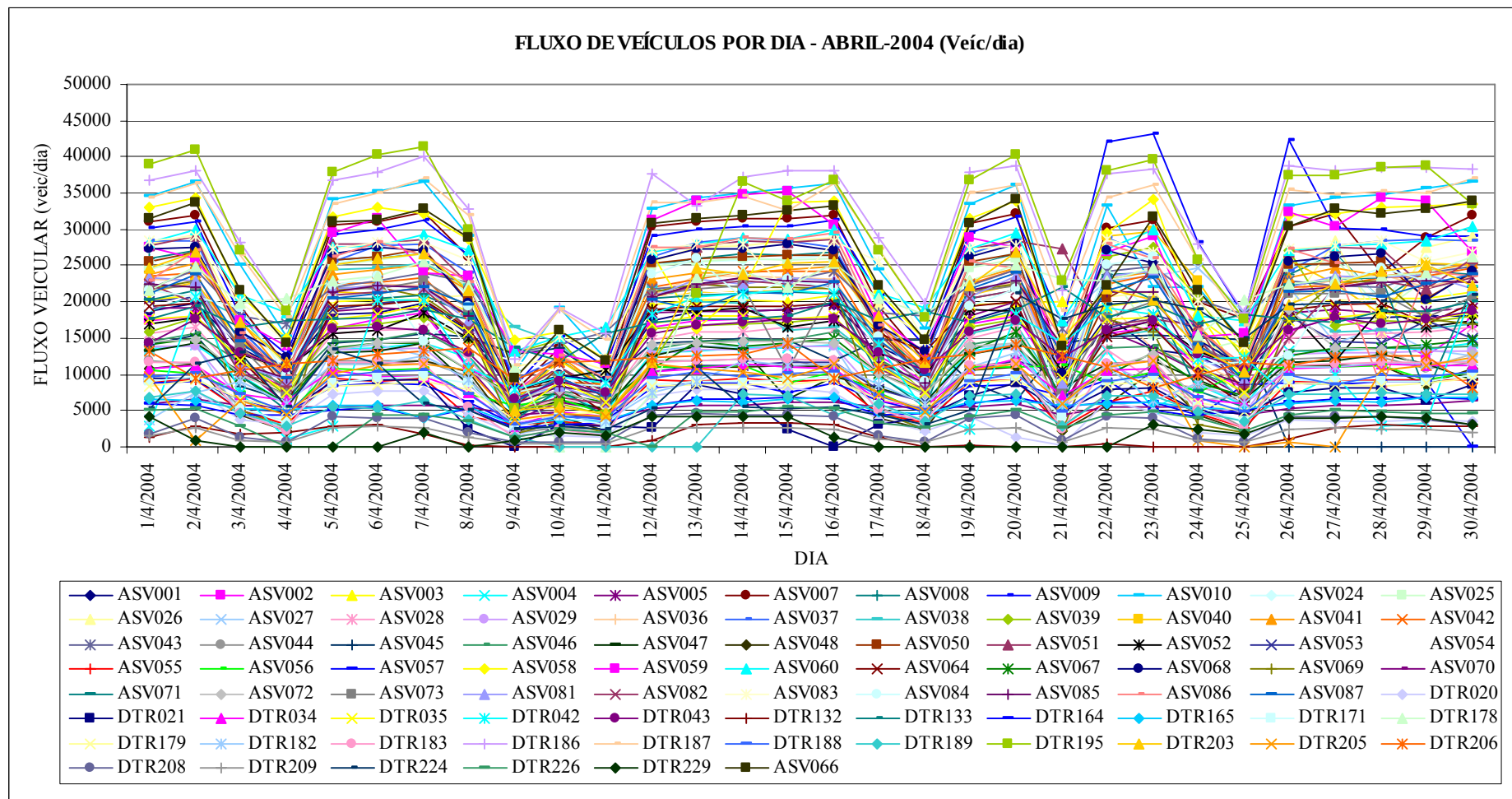


Figura 6.10 Variação diária do volume de veículos por controlador de velocidade – Plano Piloto.

Para estudo específico da contribuição da emissão por veículos leves (automóveis) movidos a gasolina, optou-se por aplicar 71,83% da frota estipulada para o DF (automóveis movidos a gasolina, obtidos da caracterização da frota do DF) (Figura 6.10). Dessa forma, definiu-se as horas-picos para estudo das emissões de CO e NO_x nas vias.

Observa-se, na Figura 6.11, a variação horária do volume de veículos do dia 14 de abril. Como visto, apresentam-se volumes acima de 2.500 veículos/hora. Dentre estes, foram registrados os valores nos controladores de velocidade localizados no Eixo Monumental (Via N1 Oeste, sentido Esplanada - Rodoferroviária), sendo o maior volume registrado o de 4.773 veículos/hora. Em outro controlador localizado na mesma via, mas em sentido contrário, (Via S1, sentido Rodoferroviária – Esplanada) foi apresentado o volume de 3.780 veículos/hora. Na maioria dos controladores, pode-se observar que os valores estão abaixo de 2.000 veículos/hora.

Esses valores refletem o comportamento do volume de tráfego das horas-picos. Verifica-se, na Figura 6.11, que o maior volume (4.773 veículos/hora) se apresenta às 17h, indicando que nesse horário, a população movimenta-se para seus pontos de origem (cidades satélites). De outra forma, às 8 horas – onde há maior volume registrado (3.780 veículos/hora) na Via S1 (sentido Rodoferroviária – Esplanada), verifica-se o acesso da população ao Plano Piloto, das cidades satélites próximas como Taguatinga, Ceilândia, Guará, assim como do Setor Sudoeste e Cruzeiro. Também observa-se que, às 9 horas, o volume alcança um registro de 3.773 veículos/hora, localizado no Eixo Monumental, no sentido Rodoferroviária – Esplanada, seguidos por outros pontos localizados nessa mesma via, o que permite definir a hora-pico de estudo (8h -9h).

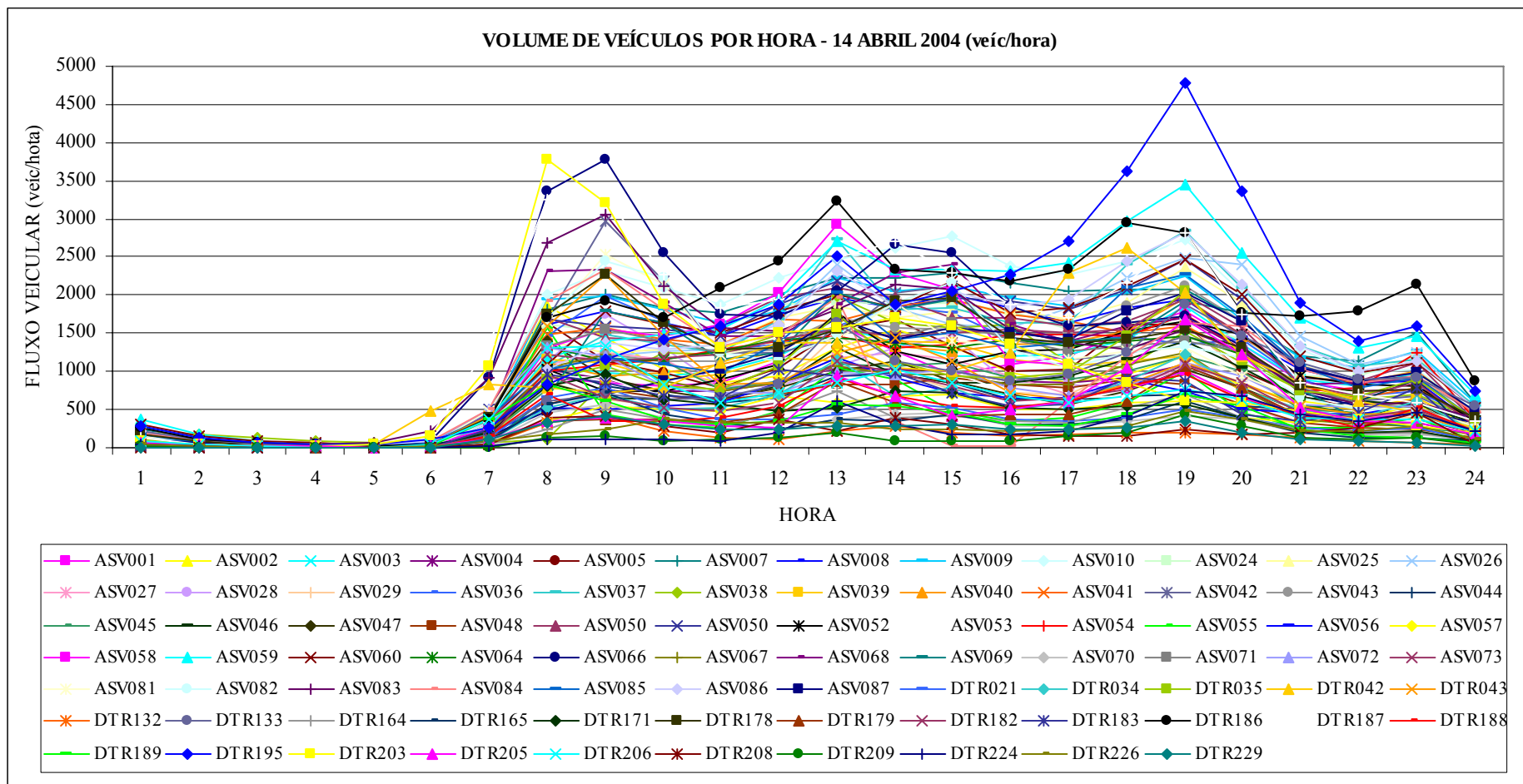


Figura 6.11 Variação horária do volume de veículos por controlador de velocidade – Plano Piloto.

Observa-se, na Figura 6.12, a distribuição espacial do volume de veículos por dia, no Plano Piloto, correspondente aos automóveis movidos a gasolina (71,83% do volume total de cada controlador).

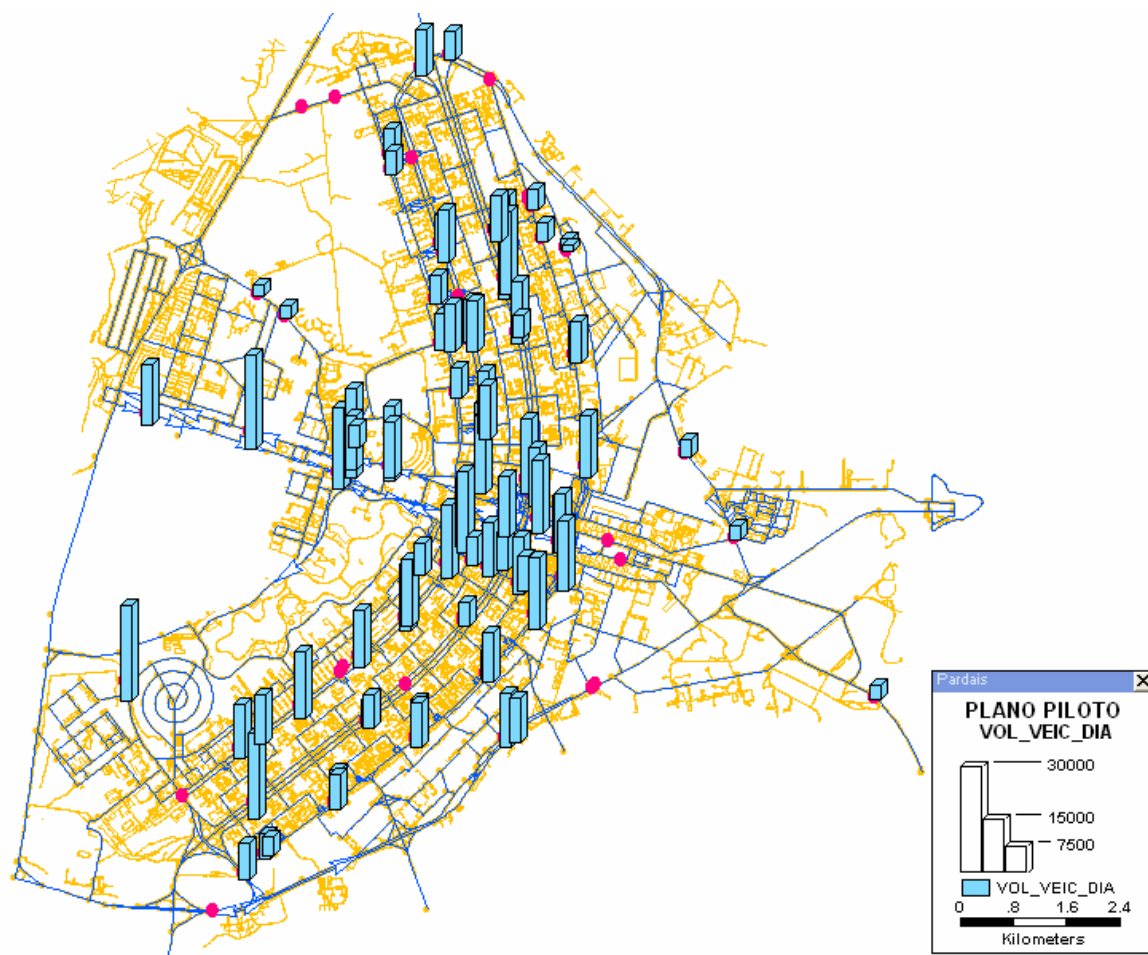


Figura 6.12 Volume de automóveis por dia por controlador de velocidade no Plano Piloto.

Da mesma forma que o analisado na variação diária (Figura 6.10), observa-se, na Figura 6.12, que o volume de automóveis movidos a gasolina do Plano Piloto apresenta os máximos volumes de veículos no Eixo Monumental (acima de 20.000 veículos/hora), Eixo Rodoviário (volume máximo 28.816 veículos/hora) e o controlador localizado na estrada do Setor Policial Sul (sentido Cruzeiro-Eixo Rodoviário), que apresenta 24.882 veículos/hora. Verifica-se a movimentação da população das cidades satélites para o Plano Piloto, originando altos volumes de veículos nas principais vias do Plano Piloto. Os altos fluxos geram altos níveis de emissão de poluentes, como o monóxido de carbono.

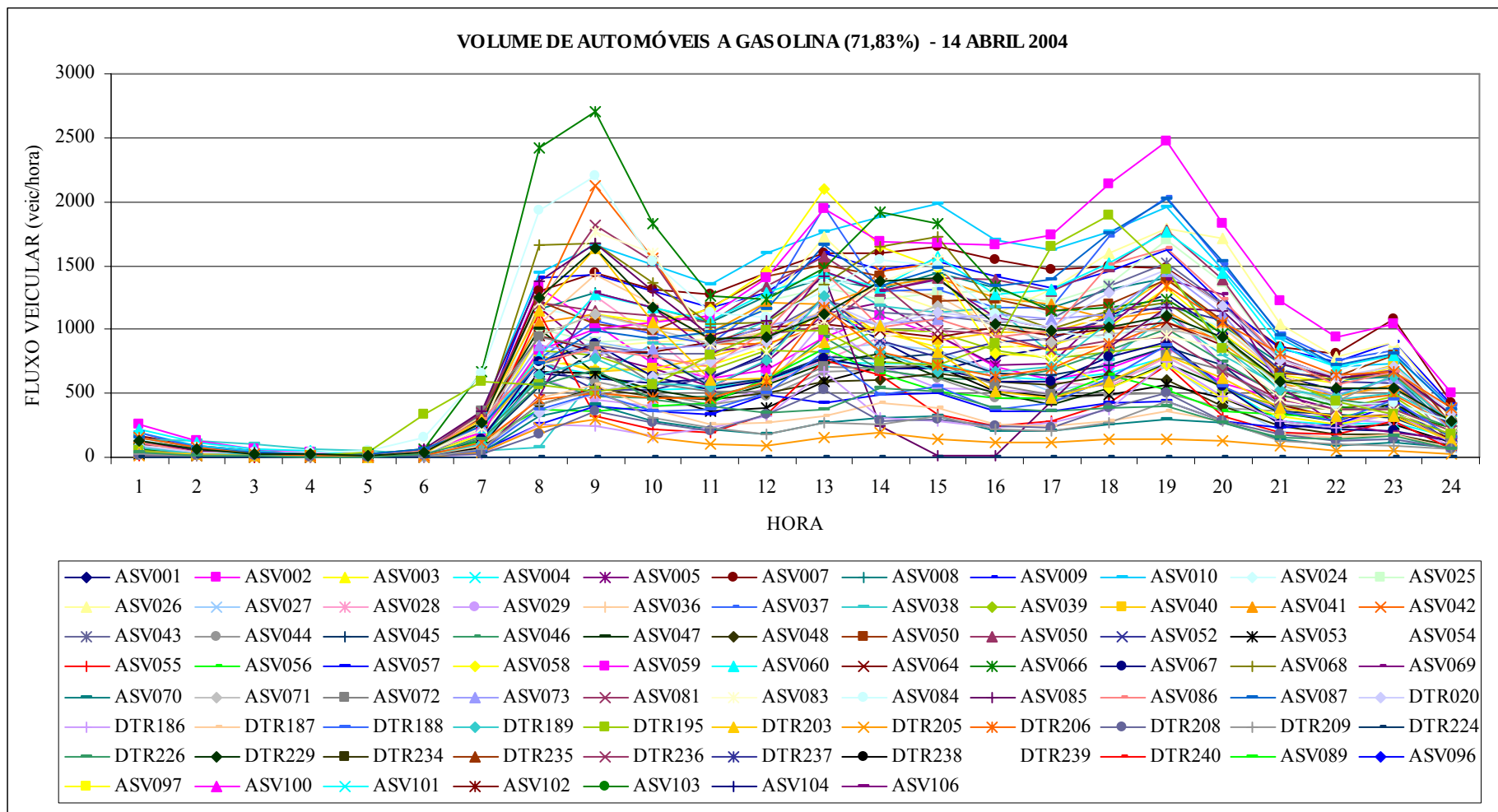


Figura 6.13 Variação horária do volume de automóveis por controlador de velocidade – Plano Piloto.

- **Variação horária:** uma vez analisada a variação do fluxo de veículos durante o dia, definiram-se as horas típicas e atípicas para estudo das emissões (Figura 6.13). Desse modo, foram definidas as horas típicas: 8:00-9:00h, 12:00-13:00h e 18:00-19:00h. A análise da variação do fluxo de veículos, nesses horários, permitiu estudar a emissão veicular com maior precisão. A Figura 6.14 apresenta a distribuição espacial do volume de automóveis nas horas-picos de estudo no Plano Piloto.

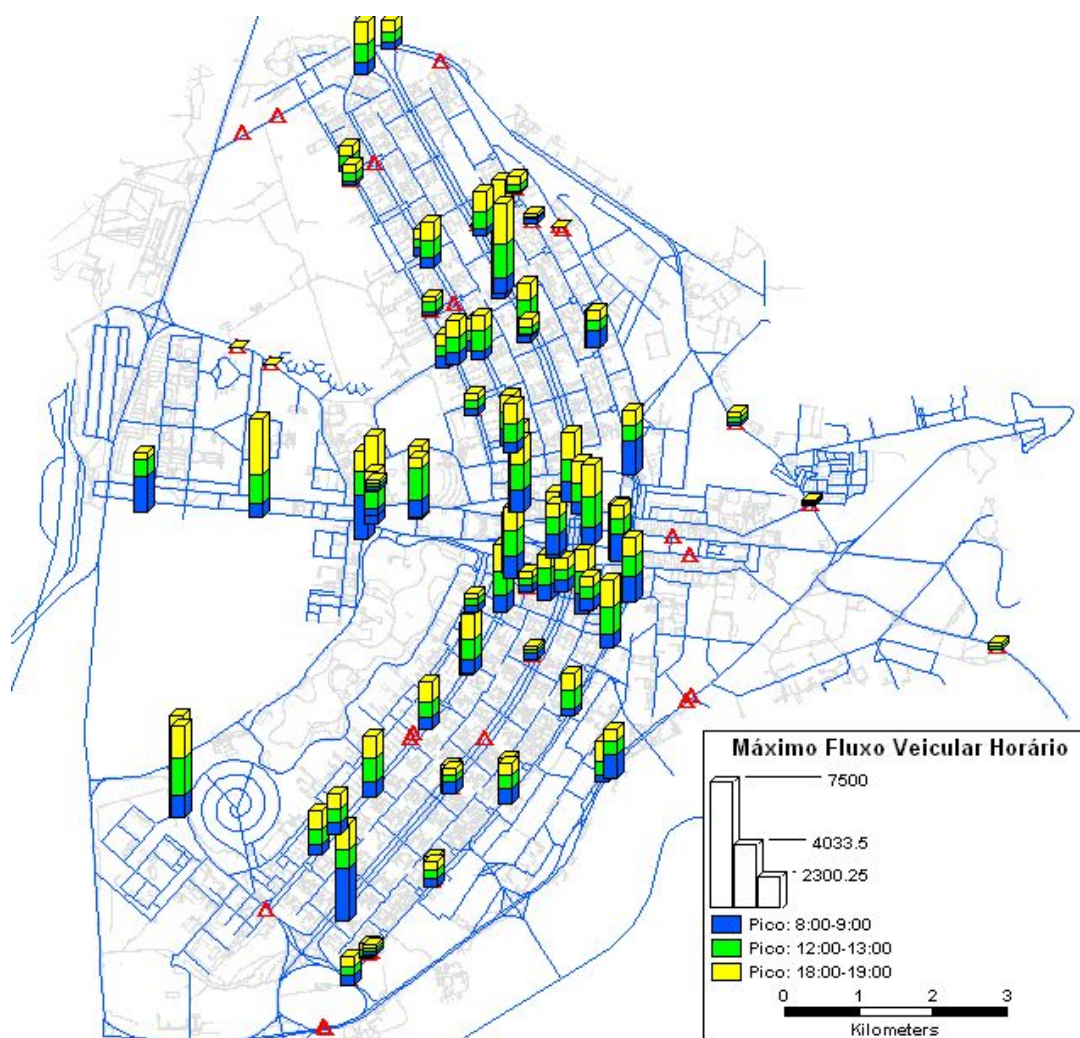


Figura 6.14 Volume de automóveis por horas pico – Plano Piloto.

Como observado nas Figuras 6.13 e 6.14, o volume de automóveis em vários controladores eletrônicos de velocidade passam de 1000 veículos/hora. Verifica-se que 18h, representa o maior volume de automóveis no Plano Piloto. Conforme visto, o maior fluxo de veículos se apresenta nos horários: 8:00-9:00h, 12:00-

13:00h e 18:00-19:00h, o que determinou a escolha desses para o estudo das emissões.

6.3.5. ETAPA IV: MONTAGEM DO BANCO DE DADOS GEOGRÁFICO

Essa etapa visa compor a base de dados geográfica, considerando os dados levantados na etapa anterior. O processo seguido foi decorrente da forma como os dados foram coletados e organizados para o estudo das emissões.

6.3.5.1. Elaboração do banco de dados do fluxo veicular

O banco de dados dos fluxos veiculares foi elaborado em planilhas de trabalho do Microsoft Excel (*.xls), pois este *software* permite trabalhar com arquivos de tipo Database (*.dbf), permitindo também sua integração com os *softwares* do SIG disponíveis no mercado, bem como os utilizados no trabalho – TransCad® e Arcview®.

Definiram-se os dados da contagem volumétrica em categorias veiculares, a fim de se obter o número total de veículos na categoria automóveis a gasolina. Os dados fornecidos da contagem volumétrica apresentam diferenças quanto à categoria veicular, ao controlador eletrônico de velocidade (DTR) e ao registrador de infrações no semáforo (ASV). Registra-se a contagem em função ao tamanho do veículo (porte veicular), conforme apresentada na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 Classificação por porte veicular nos controladores de estudo.

CONTAGEM VOLUMÉTRICA	PORTE VEICULAR (m)			
	Moto	Pequeno	Médio	Grande
Registradores de infrações no semáforo (ASV)	-	0 a 4	4 a 8	acima de 8
Controladores eletrônicos de velocidade (DTR)	0,8 a 2,40	2,41 a 5,50	5,60 a 6,80	6,90 a 35

Fonte: Elaborado com base nos dados do DETRAN (2005).

Conforme visto na Tabela 6.7, ambos controladores apresentam diferenças entre os tamanhos estabelecidos para contagem. Nesta pesquisa, devido a essas diferenças e por falta de informação em vários controladores, optou-se por definir a categoria veicular em

estudo (automóveis movidos a gasolina), considerando a porcentagem estipulada da frota do DF para essa categoria (71,83%). Já que, se considerarmos o porte veicular “pequeno” do ASV como a possível frota de automóveis para o estudo, estaria se considerando a categoria “moto” do DTR, não sendo nosso objetivo de estudo. Para isso, foi feita uma pesquisa das categorias veiculares no mercado, verificando que esses comprimentos incluem e excluem os tipos de veículo, sendo difícil a classificação para o estudo.

Dessa forma, para obtenção do fluxo de veículos que passa pela via por hora, realizou-se a soma dos valores do volume de veículos dos controladores de sentidos opostos na mesma via, considerando que as duas pistas, com fluxo em sentidos opostos, contribuem igualmente para a emissão de poluentes. Obtido o fluxo total de veículos em cada ponto de contagem, aplicou-se a porcentagem de 71,83% ao fluxo total para quantificar os automóveis a gasolina circulantes nas vias em estudo. Estimada a categoria em estudo, elaborou-se o banco de dados. A informação de cada ponto de contagem teve como atributos: a localização do controlador, o número de veículos e a categoria veicular em função do tipo de combustível.

6.3.5.2. Base geográfica

A base geográfica está constituída pela rede viária do Plano Piloto, onde foram georeferenciados os pontos de contagem dos fluxos veiculares. A rede viária foi elaborada no TransCAD®, definindo como vias principais para o estudo a Avenida L2, a Avenida W3, o Eixo Monumental e o Eixo Rodoviário.

6.3.5.3. Base de dados geográficos

Para trabalhar com a base geográfica, foi utilizado o *software* ArcView®. A base de dados geográficos foi composta pelo cruzamento do banco de dados dos fluxos de veículos e a base geográfica. O banco de dados permite a atualização contínua das informações geradas, garantindo maior precisão. Por meio da projeção e sobreposição das informações escolhidas sobre a base geográfica, foram elaborados os mapas temáticos a respeito da poluição veicular.

Escolheu-se o SIG ArcView® GIS 3.2 (ESRI-USA) para fazer a integração dos dados, pois o *software* permite a manipulação de diversos mapas vetoriais em um único plano de trabalho. A utilização deste SIG permitiu uma fácil integração com a base digital do mapa e os resultados dos cálculos da planilha do Excel, permitindo a inserção de novas informações no banco de dados já vinculado ao mapa, assim como a realização de consultas (Figura 6.15).

Em cada ponto de contagem, tem-se informação da localização, da via, do sentido da via, do fluxo de veículos na hora-pico, do nível de emissão para o CO e NO_x, das diferentes horas de estudo e os fatores de emissão para cada poluente, como apresentado na Tabela 6.8.

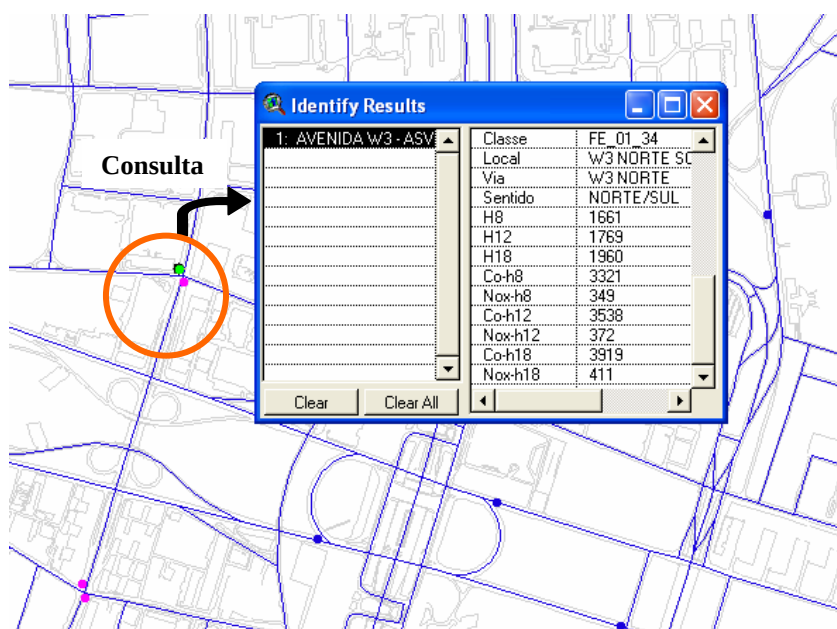


Figura 6.15 Consulta à base de dados geográficos.

Na elaboração da base de dados geográficos, pela falta de dados, não se considerou os atributos referentes a velocidade dos veículos nos pontos de contagem. As características das vias foram consideradas nas respectivas análises, principalmente as vias que apresentaram maiores níveis de emissão dos poluentes em estudo.

6.3.6. ETAPA V: DETERMINAÇÃO DA EMISSÃO VEICULAR

Nessa etapa foi determinada a emissão veicular em função da caracterização do fluxo veicular, da frota veicular e dos fatores de emissão (CO e NO_x). Os cálculos foram obtidos das fórmulas apresentadas na metodologia proposta. Os valores obtidos são expressos em g/hora por km de via. Ressalta-se que o fator de emissão utilizado para cada poluente representa as condições de tráfego normais, determinado por Filizola (2005), o que pode ser aplicado a qualquer cidade do Brasil (sem considerar a altitude).

A quantificação das emissões foi calculada aplicando a equação estabelecida na metodologia proposta. Como exemplo, apresenta-se o cálculo da emissão de CO, no ponto de contagem ASV043 (observar a localização na Tabela 6.8). Na equação, FE_i representa o fator de emissão (g/km) do poluente i e N_{jt} é o fluxo de veículos na via ou ponto de contagem j , em um período de tempo t expresso em veículo/h.. E_{ijt} é a quantidade emitida do poluente i , durante o período de tempo t de estudo de uma determinada via j .

$$E_{ijt} = FE_i \times N_{jt} \quad \text{Equação (5.1)}$$

Onde:

$$E_{ijt} = E_{\text{CO (ASV043)(8h)}}$$

= Emissão de CO no ponto de contagem ASV043 na hora pico 8h-9h.

$$FE_{\text{CO}} = \text{Fator de Emissão do CO} = 2,0 \text{ g/km}$$

$$N_{jt} = \text{Volume veicular no ponto de contagem ASV043 na hora pico (8h-9h)}$$

$$= 875 \text{ veículo/hora}$$

Aplicando a fórmula tem-se o resultado da emissão de CO no ASV043 às 8h-9h:

$$E_{\text{CO (ASV043)(8h)}} = 2,0 \times 875 = 1.750 \text{ g/h por km}$$

Ressalta-se que o cálculo das emissões foi realizado para cada ponto de contagem (controladores eletrônicos de velocidade) em estudo, para o CO e NO_x se aplicou a mesma fórmula.

Dessa forma, obteve-se a emissão dos poluentes em estudo, sendo armazenada e calculada no banco de dados geográficos para a representação espacial das emissões. Os cálculos realizados de alguns dos pontos de contagem são apresentados na Tabela 6.8 e 6.9 a seguir:

Tabela 6.8 Emissão do CO e NO_x nos pontos de contagem no Plano Piloto.

CODIGO	NOME	LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE CONTAGEM	SENTIDO	Volume de veículos Horas típicas pico (veículos/hora)			Volume Total de veículos veículos/dia
				8h-9h	12h-13h	18h-19h	
3042	PCE042/043	42 (DF 002 SQS 115/215)	1(D) - DF 051 - Rodoviária de	4098	2361	4249	46922
1043	ASV043	EIXO L NORTE ALT QD 01 SBN SE	SUL/NORTE	875	1217	1524	16702
2132	DTR132/133	EIXO L SQN 210 SENT NORTE/SUL	NORTE/E/SUL	794	1325	1490	15025
2205	DTR205/206	EIXO L SQS 209 SENT NORTE/SUL	NORTE/E/SUL	1230	1282	1762	16634
2178	DTR178/179	EIXO W SQN 106 SENT NORTE/SU	NORTE/E/SUL	1906	1745	1880	23514
2171	DTR171	EIXO W SQS 103 SENT SUL/NORT	SUL/NORTE	687	377	402	6485
2226	DTR226	EPAA 400M APÓS O CEMPING DE B	EIXO MONUMENTAL/EPIA	170	228	346	3497
2229	DTR229	EPAA A 200M DO ACESSO AO Q.G.	EPIA/EIXO MONUMENTAL	292	209	247	2954
1028	ASV028/29	L2 NORTE ALT SQN 406 SENT NOR	NORTE/E/SUL	1705	1828	1957	21096
1042	ASV042	L2 NORTE SEN 401 SENT NORTE/S	NORTE/SUL	2130	1035	1053	17398
2020	DTR020/21	L2 SQN 410 SENT NORTE/SUL	NORTE/E/SUL	820	985	1105	10883
2188	DTR188/189	L2 SQS 415 SENT NORTE/SUL	NORTE/E/SUL	695	1055	1189	12204
1068	ASV068	L2 SUL PROX QD 601 SENT SUL/N	SUL/NORTE	1680	1353	1216	19594
1026	ASV026	L2 SUL SAS ALT QD 06 SENT NOR	NORTE/SUL	859	1721	1794	20004
1052	ASV052/53	L2 SUL SQS 404 SENT NORTE/SUL	NORTE/E/SUL	1190	1861	1746	21952
1001	ASV001/02	L2 SUL SQS 408 SENT NORTE/SU	NORTE/E/SUL	1654	2109	2137	26086
1046	ASV046/47	L2 SUL SQS 412 SENT NORTE/SUL	NORTE/E/SUL	1127	1667	1740	20298
2208	DTR208/209	L3 NORTE Q.610 BL K COL SENT	NORTE/E/SUL	402	303	476	5071
2164	DTR164/165	L4 NORTE PROX FUZ NAVAIS	NORTE/E/SUL	879	795	940	9111
2042	DTR042/043	L4 SUL FRT BEM ALEMANHA	NORTE/E/SUL	2149	1884	2258	27598
3002	PDR002/003	PDR002 - DF-002 (EIXÃO NORTE)	1 (Ponte do Braguetto-Rodov.P	4940	3660	4231	51911

Tabela 6.9 Emissão do CO e NO_x nos pontos de contagem no Plano Piloto.(continuação)

CODIGO	NOME	Fator de emissão do CO (g/km)	Emissão de CO (g/h por km) Horas típicas pico			Fator de emissão do NO _x (g/km)	Emissão de NOx (g/h por km) Horas típicas pico		
			8h-9h	12h-13h	18h-19h		8h-9h	12h-13h	18h-19h
3042	PCE042/043	2,0	8196	4722	8497	0,21	861	496	892
1043	ASV043	2,0	1750	2434	3047	0,21	184	256	320
2132	DTR132/133	2,0	1587	2649	2980	0,21	167	278	313
2205	DTR205/206	2,0	2459	2564	3524	0,21	258	269	370
2178	DTR178/179	2,0	3811	3490	3760	0,21	400	366	395
2171	DTR171	2,0	1375	754	804	0,21	144	79	84
2226	DTR226	2,0	340	455	691	0,21	36	48	73
2229	DTR229	2,0	583	418	494	0,21	61	44	52
1028	ASV028/29	2,0	3410	3656	3915	0,21	358	384	411
1042	ASV042	2,0	4260	2070	2106	0,21	447	217	221
2020	DTR020/21	2,0	1641	1970	2211	0,21	172	207	232
2188	DTR188/189	2,0	1391	2110	2378	0,21	146	222	250
1068	ASV068	2,0	3360	2707	2432	0,21	353	284	255
1026	ASV026	2,0	1718	3442	3589	0,21	180	361	377
1052	ASV052/53	2,0	2380	3722	3492	0,21	250	391	367
1001	ASV001/02	2,0	3308	4218	4274	0,21	347	443	449
1046	ASV046/47	2,0	2254	3334	3479	0,21	237	350	365
2208	DTR208/209	2,0	803	606	952	0,21	84	64	100
2164	DTR164/165	2,0	1758	1590	1879	0,21	185	167	197
2042	DTR042/043	2,0	4298	3768	4515	0,21	451	396	474
3002	PDR002/003	2,0	9881	7319	8462	0,21	1037	769	888

6.3.7. ETAPA VI: REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS NÍVEIS DE EMISSÃO

Para a representação espacial dos níveis de emissão do CO e NO_x, consideraram-se os pontos de contagem dos controladores de velocidade como pontos de emissão. Por não apresentarem dados das interseções, realizou-se uma representação pontual nas 3 dimensões. Os cenários representados demonstram a emissão dos poluentes emitidos por automóveis a gasolina nas diferentes horas típicas de estudo (8:00-9:00h; 12:00-13:00h e 18:00-19:00h).

6.3.7.1. Níveis de emissão do Monóxido de Carbono (CO)

A seguir, serão apresentados os níveis de emissão do CO nas diferentes vias do Plano Piloto, nas respectivas horas-picos de estudo:

- **Hora-pico 1 (8:00-9:00h):**

Os volumes máximos de veículos apresentam-se no Eixo Rodoviário, no Eixo Monumental e na estrada do Setor Policial Sul, apresentando volumes máximos de 3945 a 4910 veículos por hora.

O volume máximo de veículos reflete a emissão máxima de CO nesse horário, como se observa na Figura 6.16. A emissão máxima foi 9.881 g/h por km e a emissão mínima de 167 g/h por km. Verifica-se que, no Eixo Monumental e no Eixo Rodoviário, apresentam valores máximos de emissão de CO, isto pode ter sido gerado pelo fluxo de veículos procedente da área sudoeste (Taguatinga, Setor Sudoeste, Cruzeiro Novo, etc.), e o setor norte (Sobradinho, Planaltina), refletindo o deslocamento das cidades satélites aos seus pontos de trabalho (Plano Piloto).

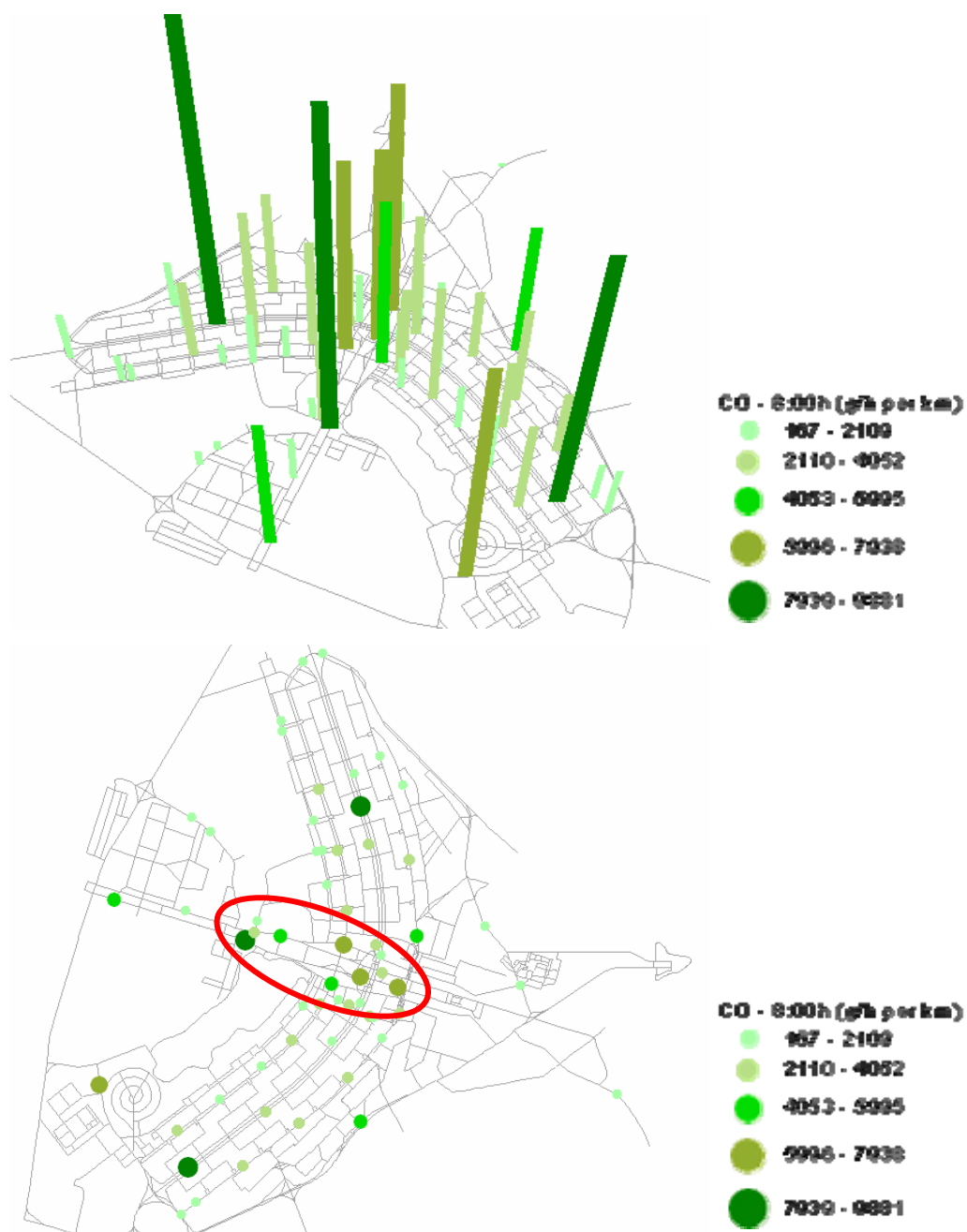


Figura 6.16 Níveis de emissão do CO (8:00-9:00h).

- **Hora-pico 2 (12:00-13:00h):**

Observa-se, na Figura 6.17, que os volumes máximos de veículos nesse horário localizam-se no Eixo Rodoviário, no Eixo Monumental e na estrada do Setor Policial Sul.

O volume máximo de veículos reflete a emissão máxima de CO nesse horário, como se observa na Figura 6.17. A emissão máxima foi 8.202 g/h por km e a emissão mínima de 418 g/h por km. Verifica-se que, no Eixo Monumental e no Eixo Rodoviário, apresentam valores altos de emissão de CO, entre 5.000 a 8.000 g/h por km.

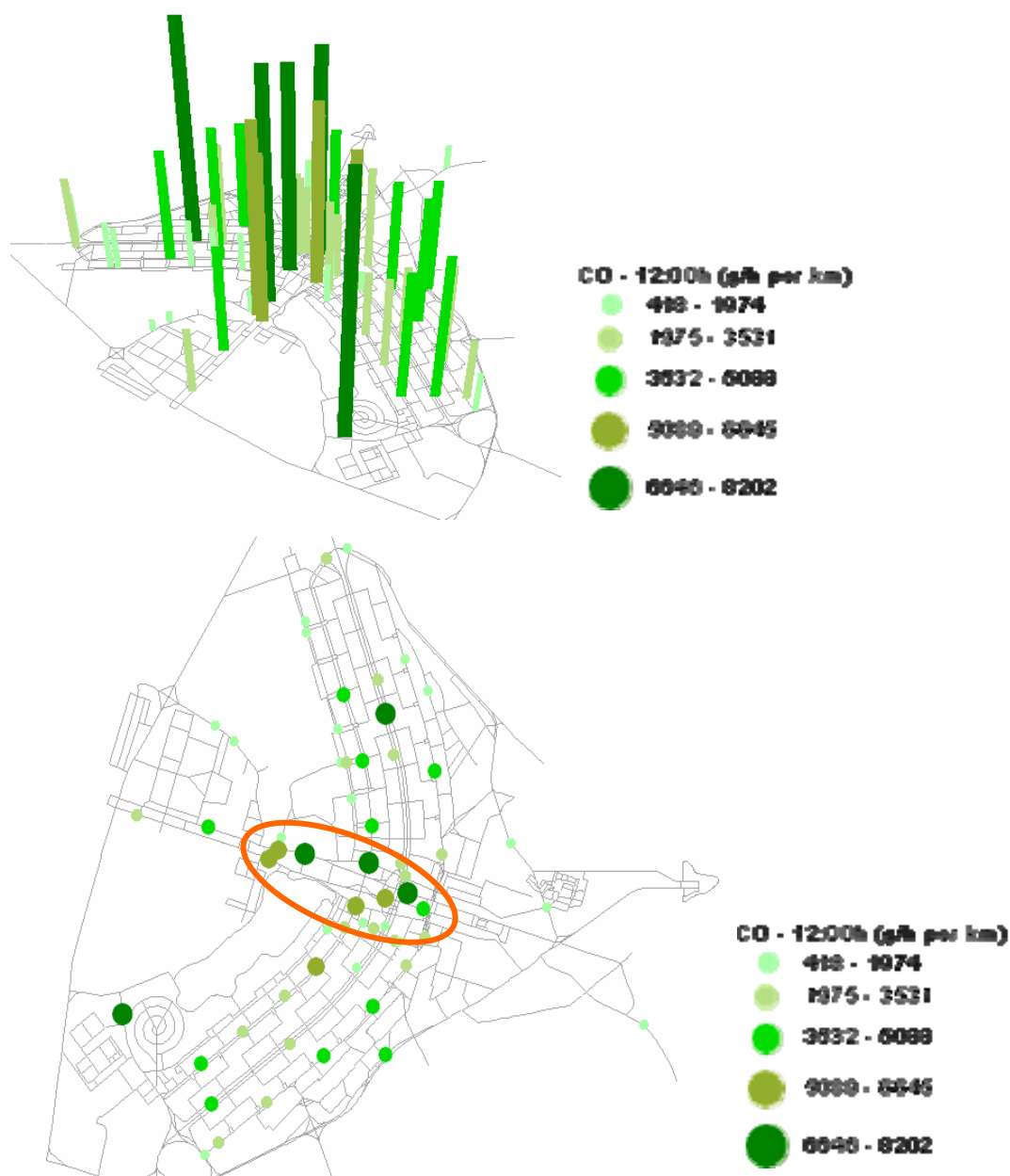


Figura 6.17 Níveis de emissão do CO (12:00-13:00h).

A diferença do horário de pico anterior (8h-9h), o horário do almoço apresenta máximas emissões de CO, sendo este maior que o horário pico da manhã, o que pode ter sido ocasionado em quase todos os pontos localizados no Plano Piloto pelo deslocamento das pessoas, de atividades de trabalho e estudo, por ser o horário de almoço.

- **Hora-pico 3 (18:00-19:00h):**

Da mesma forma que nos horários anteriores, no horário compreendido entre às 18h e 19h, os volumes máximos de veículos situam-se no Eixo Rodoviário, no Eixo Monumental e na estrada no Setor Policial Sul. O volume máximo de veículos reflete a emissão máxima de CO nesse horário, como se observa na Figura 6.18. A emissão máxima foi 8.497 g/h por km e a emissão mínima de 494 g/h por km. Verifica-se que, no Eixo Monumental e no Eixo Rodoviário, apresentam valores máximos de emissão de CO, o que pode ter sido gerado pela movimentação do fluxo de veículos às áreas de destino, como a área sudoeste (Taguatinga, Setor Sudoeste, Cruzeiro Novo, etc.) e o setor norte (Sobradinho, Planaltina).

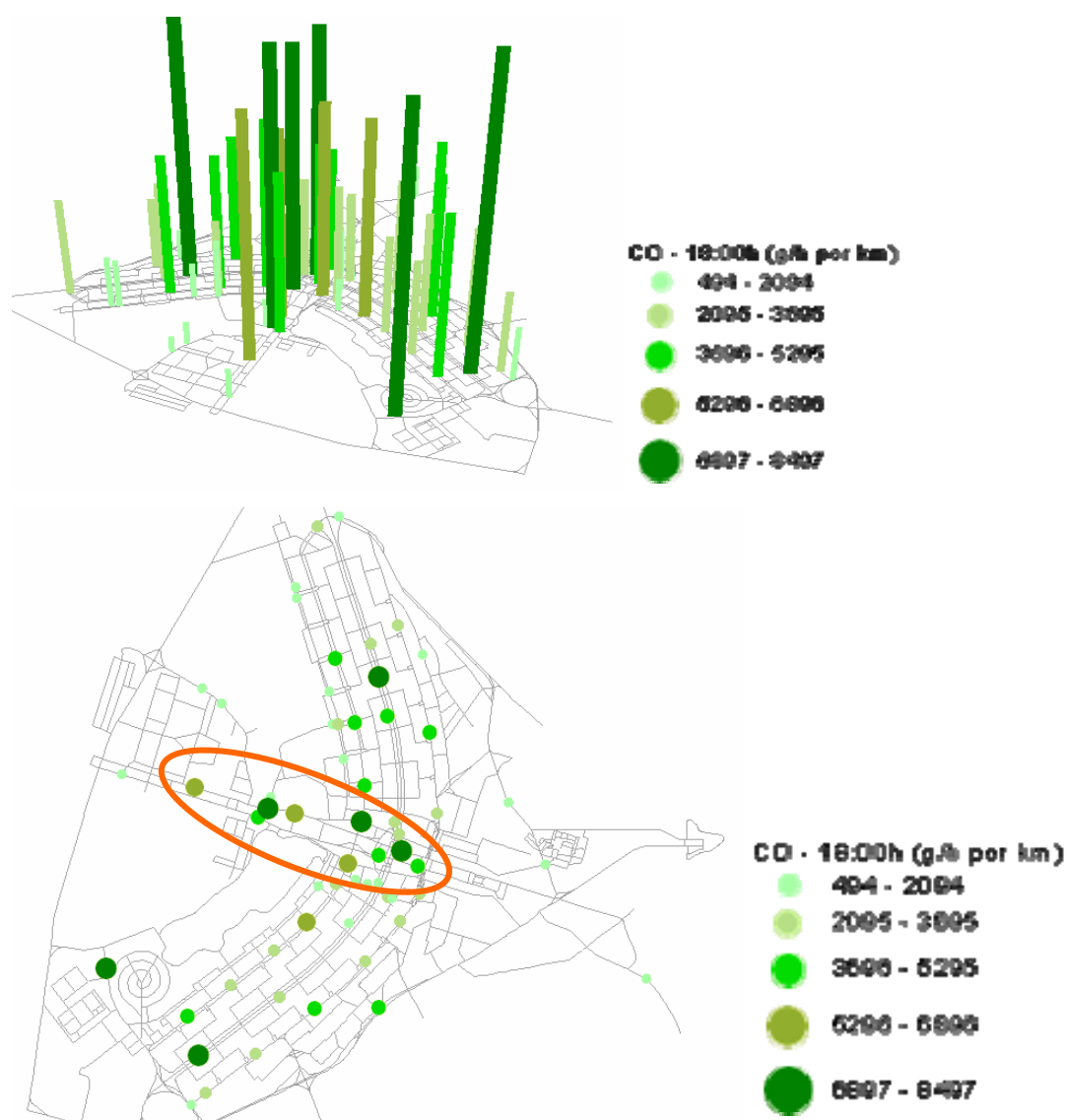


Figura 6.18 Níveis de emissão do CO (18:00-19:00h).

Como esperado, o horário pico de 18:00-19:00h, apresenta maiores deslocamentos de pessoas às diferentes cidades satélites, assim como a movimentação dentro do Plano Piloto. Observam-se que as emissões na Avenida W3 e L2, apresentam máximos níveis que os comparados com outros horários.

6.3.7.2. Níveis de emissão do óxido de nitrogênio (NO_x)

A seguir, serão apresentados os níveis de emissão do NO_x, nas diferentes vias do Plano Piloto, nas respectivas horas-picos de estudo:

- **Hora-pico 1 (8:00-9:00h):**

O volume máximo de veículos reflete a emissão máxima de NO_x nesse horário, como se observa na Figura 6.19. A emissão máxima foi 1.037 g/h por km e a emissão mínima de 17 g/h por km. Verifica-se que, no Eixo Monumental e no Eixo Rodoviário, apresentam valores máximos de emissão de CO. A emissão de NO_x nesse horário é menor que comparada com emissões de outros horários, o que se verifica um deslocamento menor de veículos nos pontos de contagem analisados.

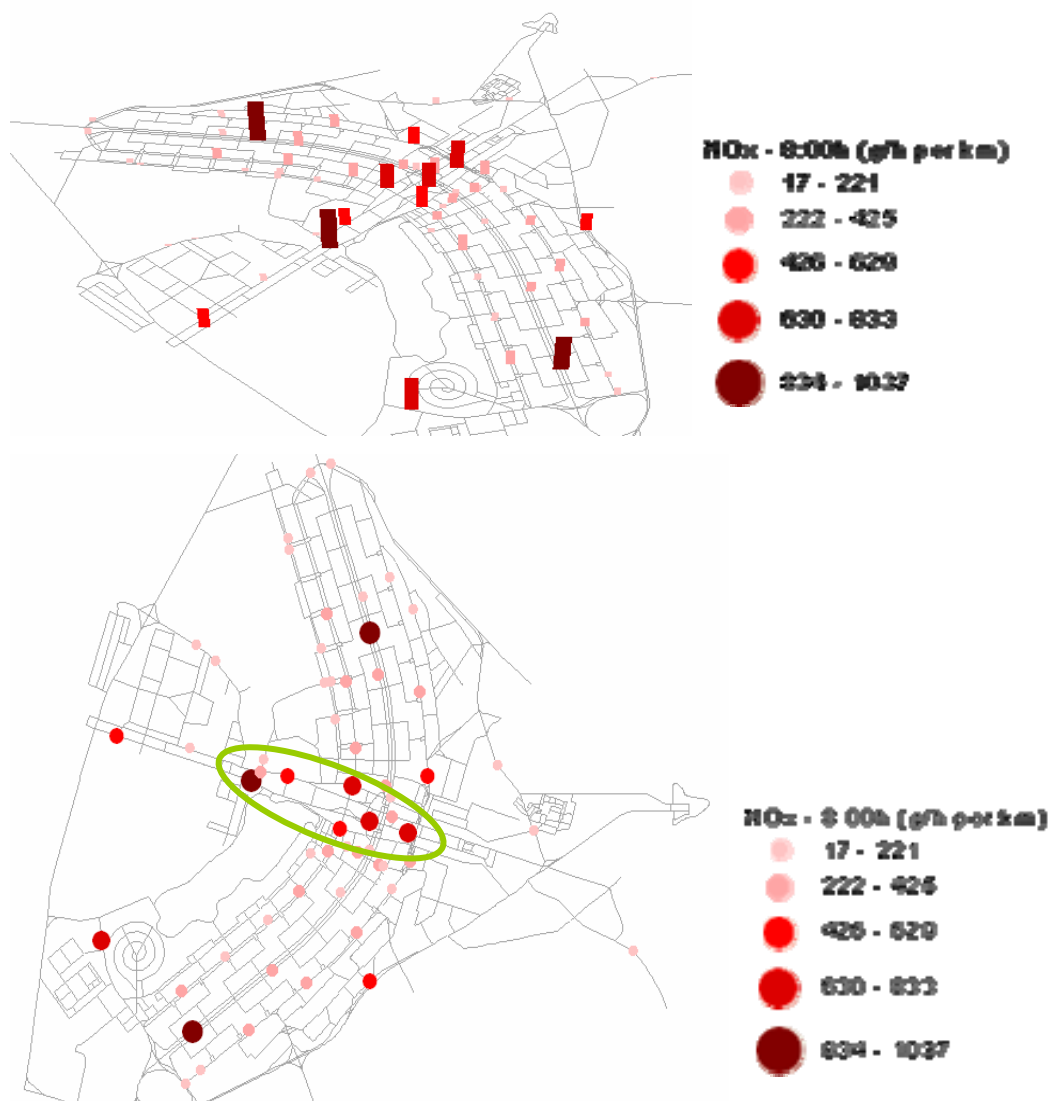


Figura 6.19 Níveis de emissão do NO_x (8:00-9:00h).

- **Hora-pico 2 (12:00-13:00h):**

Nesse horário, o volume máximo de veículos reflete a emissão máxima de NO_x, como se observa na Figura 6.20. A emissão máxima foi de 8.202 g/h por km e a emissão mínima de 418 g/h por km. Verifica-se que, o Eixo Monumental e o Eixo Rodoviário apresentam valores máximos de emissão de NO_x, também se observa que, nas Avenidas W3 e L2, as emissões de NO_x alcançam valores entre 2.000 e 5.000 g/h por km.

Nesse horário pode se observar que, apresenta os máximos níveis de emissão de NO_x (maiores a 2.000 g/h por km), que em outros horários estudados, o que comprova os altos volumes de veículos nas diferentes vias do Plano Piloto nesse horário.

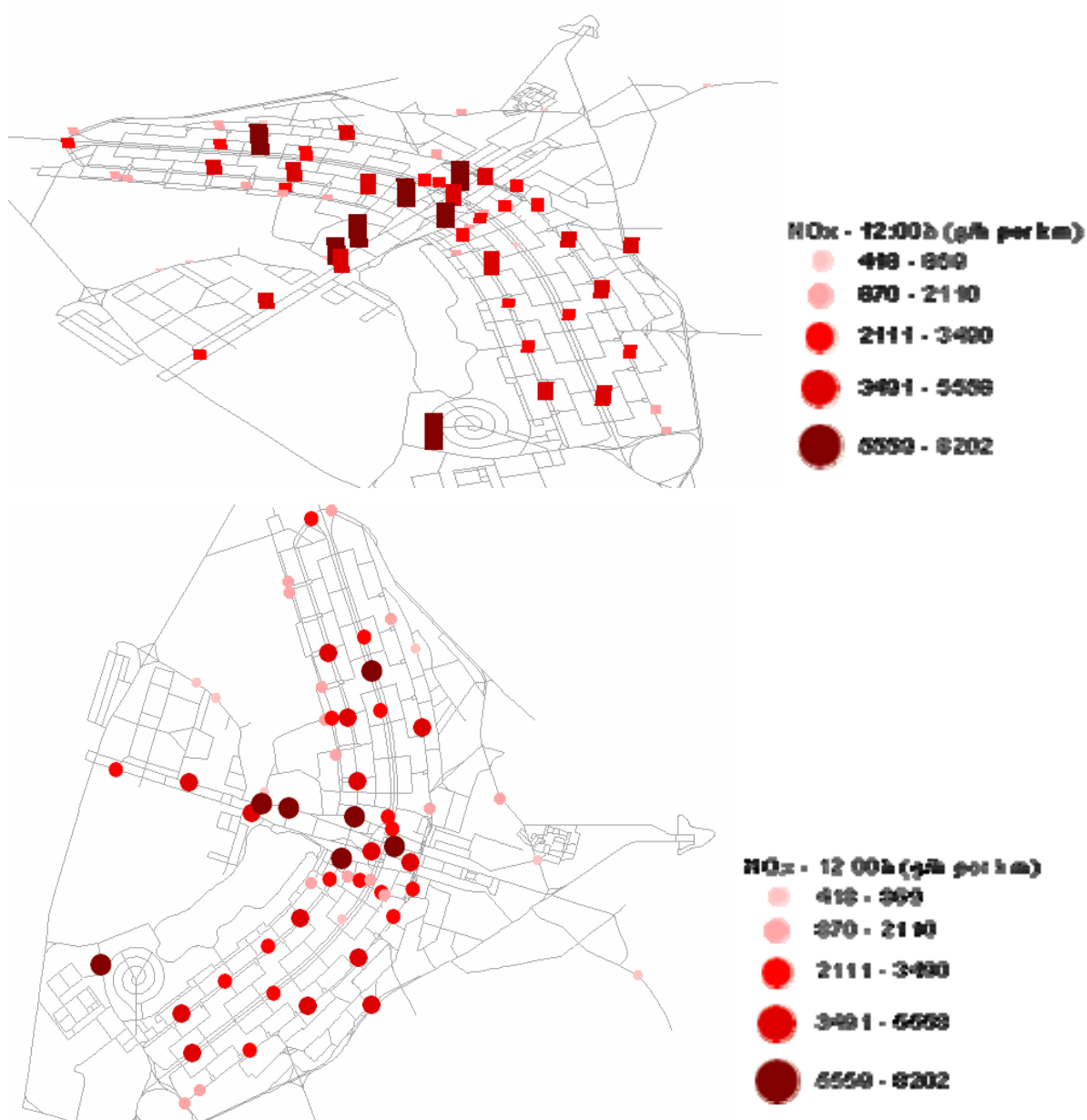


Figura 6.20 Níveis de emissão do NO_x (12:00-13:00h).

- **Hora-pico 3 (18:00-19:00h):**

Como se observa na Figura 6.21, a emissão máxima de NO_x foi de 8.497 g/h por km e a emissão mínima de 494 g/h por km. Da mesma forma que o horário anterior, verifica-se que, no Eixo Monumental, no Eixo Rodoviário e na estrada do Setor Policial Sul, apresentam valores altos de emissão de NO_x.

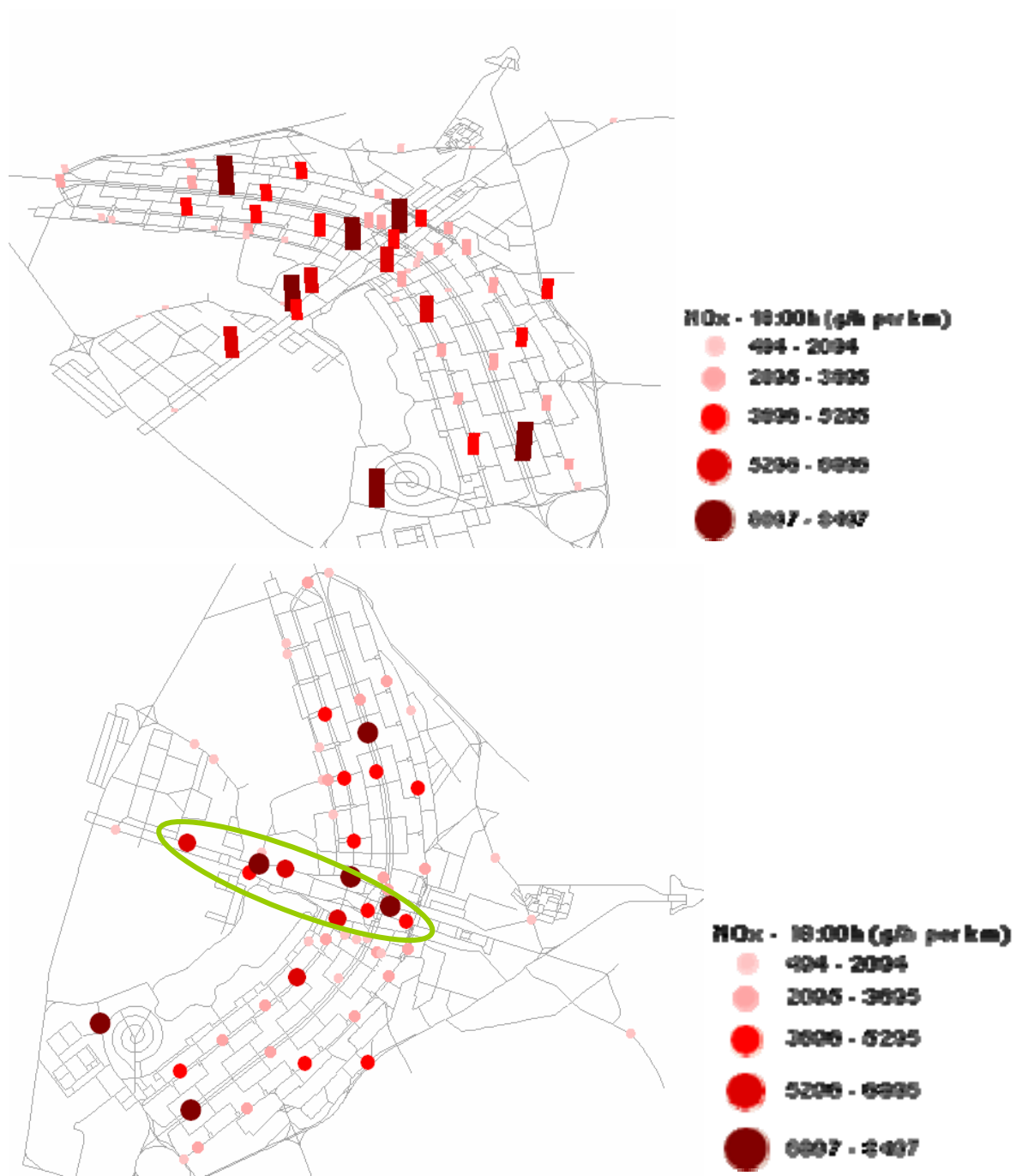


Figura 6.21 Níveis de emissão do NO_x (18:00-19:00h).

Nesse horário apresenta valores máximos de emissão que o horário do almoço, o que se reflete no maior descolamento dentro do Plano Piloto e às cidades satélites.

6.3.8. ETAPA VII: IDENTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS CRÍTICOS DE EMISSÃO

Após a representação espacial dos níveis de emissão de CO e NO_x, identificaram-se os níveis críticos de emissão. Para melhor entendimento e análise do deslocamento de veículos no DF, pode-se observar a Figura 6.22, que mostra as diversas cidades satélites e o Plano Piloto.

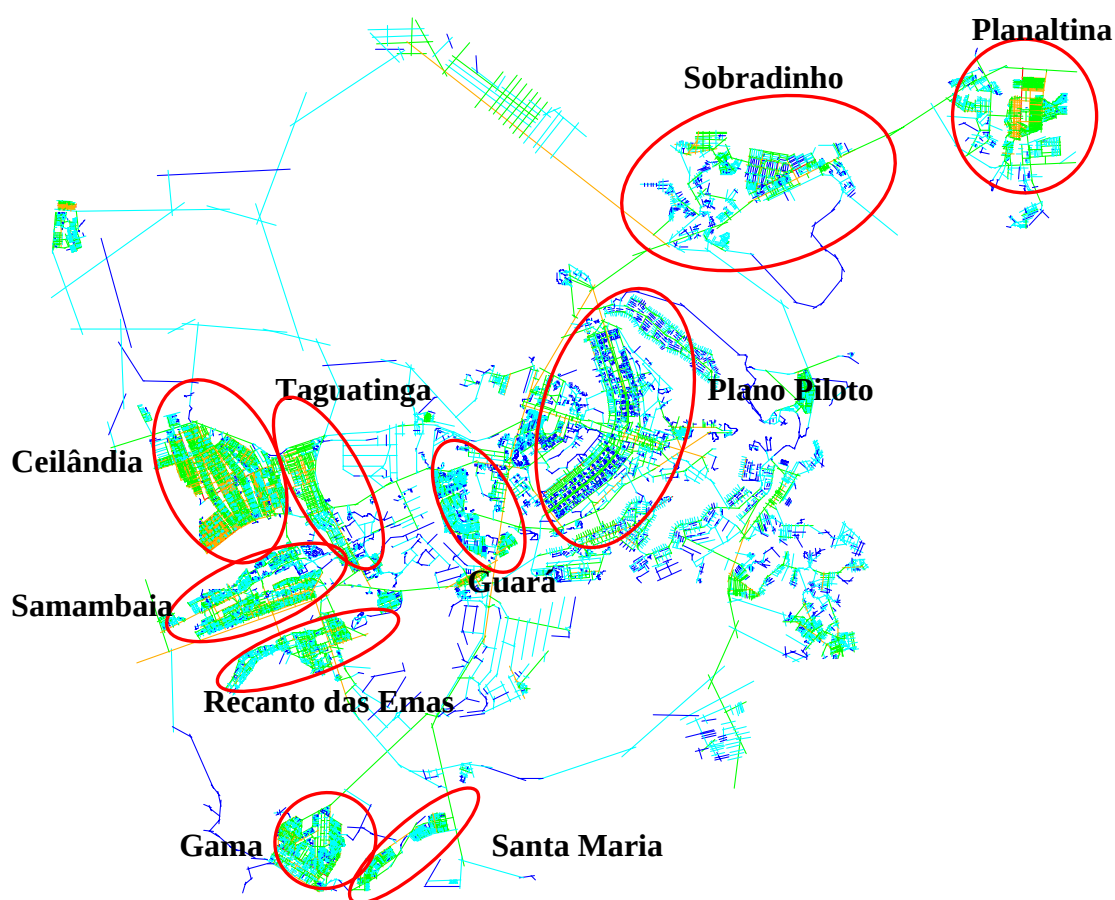


Figura 6.22 Mapa do DF

Fonte: Barros (2006).

Conforme observado na Figura 6.22, pode-se entender a movimentação de veículos das cidades satélites localizadas ao Sul (Gama, Taguatinga, Recanto das Emas, Ceilândia, Santa Maria, Guará, Samambaia), e as localizadas ao Norte do Plano Piloto (Sobradinho e Planaltina). Isto, explica os altos volumes de veículos no Eixo Monumental, Eixo

Rodoviário, além daqueles acessos localizados nos pontos principais e a estrada do Setor Policial Sul, nos diferentes horários picos analisados.

Conforme o analisado no item anterior, a emissão do CO, originado pelos automóveis movidos a gasolina, identificou que, no horário-pico do almoço (12:00-13:00h) e na hora-pico da tarde (18:00-19:00h), apresentaram-se emissões máximas. No caso do NO_x, as emissões máximas se apresentaram nos horários-picos (12:00-13:00h e 18:00-19:00h). Identificaram-se as áreas com maior incidência de emissões máximas, conforme apresentadas na Figura 6.23.

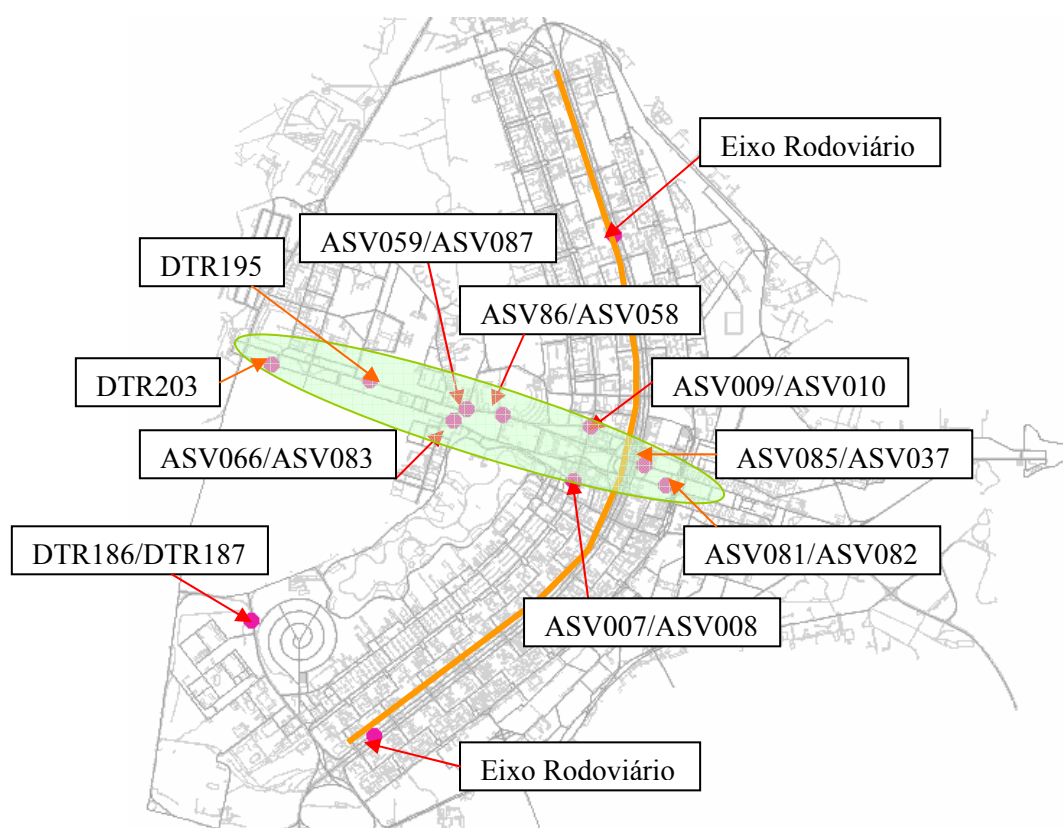


Figura 6.23 Localização dos pontos com máximas emissões de CO e NO_x.

A máxima emissão situa-se no Eixo Rodoviário, sendo 9.981 g/h por km. De outra forma, identificou-se que o Eixo Monumental e o Eixo Rodoviário são vias que suportam grande volume de veículos, os quais dão origem a níveis máximos de emissão de poluentes em toda sua extensão.

Identificou-se a estrada do Setor Policial Sul (DTR186 e DTR187), como sendo uma via de altos volumes de tráfego em todos os horários picos em estudo, o que se verifica a movimentação das cidades localizadas ao Sul do Plano Piloto.

Da mesma forma, foram identificados os pontos de contagem localizados entre a Avenida W3 e a via S2 Oeste (ASV009/ASV010 e ASV007/ASV008), com máximos níveis de emissão de CO e NO_x, em todos os horários, pois reflete a saída e/ou acesso de veículos, para a Avenida W3 (norte e sul), a qual se caracteriza por ter maior atividade comercial que outras vias no Plano Piloto.

A localização dos pontos com maior incidência de máximas emissões de CO e NO_x são apresentadas na Tabela 6.10.

Tabela 6.10 Localização dos pontos com máximas emissões no Plano Piloto.

LOCALIZAÇÃO	NOME
W3 SUL SCS SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 54	ASV007
W3 SUL SHS SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 54	ASV008
W3 NORTE SHN SENT. SUL/NORTE SEMÁFORO CRUZ 158	ASV009
W3 NORTE SCN SENT. NORTE/SUL SEMÁFORO CRUZ 158	ASV010
VIA N1 RODOV. RETORNO S1/N1 ALT. TEATRO NAC SENT. L2/W3 NORTE SEMÁFORO CRUZ 383	ASV037
VIA N1 ALT. CENTRO CONVENCOES SENT. ESPLAN/RODOF	ASV058
VIA N1 ALT. TRIBUNAL CONTAS SENT. ESPLAN/RODOF	ASV059
VIA S1 ALT. TJDF SENT. RODOF/ESPLAN	ASV066
VIA S1 ALT. CRUZ. S1/L2 SUL SENT. ROD/ESPLA SEMÁFORO CRUZ. 02	ASV081
VIA S1 ALT. CRUZ. S1/L2 SUL SENT. ROD/ESPLA SEMÁFORO CRUZ. 02	ASV082
VIA S1 ALT. TJDF SENT. RODOF/ESPLAN	ASV083
VIA N1 RODOV. RETORNO S1/N1 ALT. TEATRO NAC. SENT. L2/W3 NORTE SEMÁFORO CRUZ 383	ASV085
VIA N1 ALT. CENTRO CONVENÇÕES SENT. ESPLAN/RODOF.	ASV086
VIA N1 ALT. TRIBUNAL CONTAS SENT. ESPLAN/RODOF.	ASV087
VIA ST. POL. SUL FTE MEP. SENT. EIXO/CRUZ	DTR186
VIA ST. POL. SUL FTE MEP. SENT. CRUZ/EIXO	DTR187
VIA N1 E. MONUM. ALT. SMU SENT. CONGR/RODOF	DTR195
VIA S1 E. MONUM. CRUZ. VELHO SENT. RODOF/CONGR	DTR203

- Eixo Rodoviário:

O Eixo Rodoviário é uma via expressa primária que atravessa o Plano Piloto na direção das asas do avião (norte-sul) com extensão de aproximadamente 16.900 metros, com velocidade operacional de 80 km/h, volume de serviço de 1.500 veículos por hora por faixa, com fluxo ininterrupto e estacionamento e paradas proibidas. Nesta via, não existem

cruzamentos em nível e não há nenhuma faixa de pedestre ou semáforo ao longo de sua extensão. O limite de velocidade estabelecido é 80 km/h, salvo no trecho que intercepta a Rodoviária do Plano Piloto, onde o limite é 60 km/h. A via caracteriza-se por possuir boa fluidez de tráfego, mesmo em horários de pico. Esta via possibilita uma condição de operação livre com altos volumes de tráfego (conforme o analisado neste trabalho) e elevadas velocidades, permitindo ao condutor do veículo manter a velocidade desejada com pequeno ou nenhum retardamento.

Ressalta-se que neste trabalho, não se teve dados referentes à velocidade medida dos fluxos de veículos nos diferentes pontos de contagem, pelo qual, não se pode inferir que, os níveis de emissão obtidos sejam influenciados pela velocidade. No entanto, se considerarmos os máximos níveis de emissão obtidos nessa via, pode-se concluir que a emissão é diretamente proporcional à quantidade de veículos, e, que pode ter um acréscimo nos níveis de emissão de CO e NO_x, se acontecer congestionamentos constantes e reduções (acelerações e desacelerações) de velocidades dos veículos.

- Eixo Monumental:

O Eixo Monumental atravessa o Plano Piloto no sentido leste-oeste sendo chamado de “corpo do avião”. É uma via arterial primária com extensão de aproximadamente 13.400 metros, com velocidade operacional de 60 km/h, volume de serviço de 600 veículos por hora por faixa. Possui duas pistas separadas por um amplo canteiro central, com seis faixas cada, totalizando doze faixas, o limite de velocidade é 60 km/h. Esta via possui interseções em nível (sendo várias delas semaforizadas) e várias faixas de pedestre. É uma via que em horários de pico, possui fluxo de tráfego instável, e em algumas ocasiões especiais, fluxo forçado (congestionamentos).

De acordo com as análises do volume de veículos e os níveis de emissão nesta via, pode inferir que, se acontecer congestionamentos constantes e reduções (acelerações e desacelerações) de velocidades dos veículos nesta via, pode haver um acréscimo nos níveis de emissão de CO e NO_x, já que em todos os horários picos de estudo, esta via apresentou altos volumes de veículos.

6.4. TÓPICOS CONCLUSIVOS

Verificou-se, nesse capítulo, a aplicabilidade da metodologia proposta e, por meio dela, conseguiu-se determinar os níveis de emissão do CO e NO_x por automóveis a gasolina, determinando, assim, a contribuição da emissão veicular nas principais vias do Plano Piloto.

A representação espacial dos níveis de emissão veicular permitiu identificar, visualmente, os pontos de máxima emissão do CO e NO_x no Plano Piloto. Dessa forma, identificou-se que o Eixo Monumental, o Eixo Rodoviário e a estrada do Setor Policial Sul apresentam máximos níveis de emissão do CO e NO_x, em comparação com outras vias que compõem o sistema viário do Plano Piloto. Isto ocorre devido ao alto volume de veículos nessas vias, produzidas pela movimentação da população das cidades satélites para o Plano Piloto, onde se concentram as atividades comerciais, culturais e administrativas do DF. O alto volume de veículos nessas vias pode gerar uma menor velocidade média, provocando congestionamentos, e, por conseguinte, maiores níveis de poluição veicular.

Dessa forma, é possível concluir que, de acordo com as estimativas apresentadas, o transporte privado no DF constitui a principal fonte poluidora do ar. Nesse estudo, não foi possível a inclusão de informações relativas a outras categorias veiculares e a aplicação de fatores de emissão para outros tipos de veículos. Por conseguinte, o encaminhamento para novas pesquisas nesse campo seria a inserção de dados referentes a outras categorias veiculares, complementando a avaliação do potencial poluidor das redes de transporte urbano.

7. CONCLUSÕES

7.1. APRESENTAÇÃO

Este capítulo apresenta as principais contribuições obtidas a partir dos objetivos propostos no trabalho. Inicialmente são enumeradas algumas limitações do estudo, verificadas em função de algumas dificuldades encontradas ao longo da realização do estudo, comuns principalmente a pesquisas que requerem grande volume de dados. No segundo item, são apresentadas as principais conclusões e em seguida discorre-se sobre a avaliação da metodologia proposta e sua aplicabilidade. E finalizando o capítulo, são expostas algumas recomendações para futuras investigações relacionadas ao tema em questão.

7.2. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Verificaram-se algumas limitações do estudo ao se aplicar a metodologia no estudo de caso. Inicialmente deve-se ressaltar que a amostra dos pontos de contagem volumétrica (controladores eletrônicos de velocidade) – 82 pontos (ASV, DTR) fornecidos pelo DETRAN e DER – não foi muito significativa, fomentando restritas inferências acerca dos objetivos que se propunha alcançar. Além disso, as informações fornecidas de alguns pontos de contagem apresentavam-se incompleta, ocasionando sua desconsideração para evitar erros no cálculo das emissões.

Apesar do limitado número de pontos de contagem volumétrica distribuídos no Plano Piloto, constatou-se que os dados fornecidos permitiam representar de forma satisfatória os fluxos veiculares circulantes no Plano Piloto, possibilitando uma aproximação real dos níveis de emissão veicular.

Outra dificuldade foi a inexistência de dados do volume veicular nos dois sentidos das vias em alguns pontos de contagem. Por isso, optou-se pela obtenção do fluxo de veículos por meio da soma dos valores do volume de veículos dos controladores de sentidos opostos na mesma via, considerando que ambos os sentidos contribuem igualmente para a emissão de poluentes.

Outro aspecto que deve ser salientado é a falta de dados em relação a velocidade medida dos veículos, o que impossibilitou avaliar a influência desta variável – proposta na metodologia – na emissão dos poluentes. No entanto, com a obtenção do volume veicular que passa pelas vias em estudo, avaliou-se a contribuição de uma das categorias veiculares (automóveis a gasolina) na emissão de poluentes.

Cabe também fazer referência a falta de contagem de veículos nas interseções, o que limitou a representação espacial de forma pontual, ou seja, na representação espacial dos níveis de emissão utilizou-se apenas os pontos de contagem dos controladores eletrônicos de velocidade (3 dimensões).

7.3. CONCLUSÕES

Os objetivos desta dissertação, apresentados no capítulo 1 foram atingidos em sua integridade. Neste trabalho foi possível desenvolver uma metodologia para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores nas áreas urbanas por meio dos fluxos veiculares nas vias e valores referenciais de emissão veicular do Brasil.

Comprovou-se a hipótese formulada, verificou-se que, os níveis de emissão de gases derivados dos veículos automotores podem ser identificados espacialmente, por meio dos fluxos de tráfego de veículos utilizando valores referenciais de emissão veicular do Brasil, obtidos por Filizola (2005).

Esta seção apresenta as principais conclusões gerais obtidas a partir do estudo que foi realizado, muito embora a análise e a discussão de cada etapa de seu desenvolvimento já tenham sido apresentadas, de forma parcial, nos capítulos anteriores, apresentados a seguir:

- Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi de extrema relevância a compreensão das origens das emissões dos poluentes e seus efeitos adversos, que nas últimas décadas vêm se intensificando, principalmente na saúde da população, provocando doenças como: alergias, enfermidades cardiovasculares, câncer, problemas respiratórios. Dessa forma, torna-se necessário conhecer, por meio do controle da qualidade, quanto o ar está poluído. Tal compreensão é importante para a definição de estratégias eficientes de melhoria da qualidade do ar.

- No trabalho, foi amplamente mostrado que a poluição do ar é o principal impacto ambiental gerado pelo aumento dos veículos automotores em circulação. E, dentro da composição da frota veicular urbana, os veículos de motores a combustão dos ciclos Otto e Diesel são os principais responsáveis pelas emissões veiculares. Porém, o estudo das condições que influenciam as emissões da poluição veicular é essencial para estabelecer parâmetros reais que permitam medir e controlar essas emissões. Espera-se que medidas de controle, tais como padrões de qualidade do ar ou padrões de emissão, permitam a redução das emissões veiculares.
- Também foi mostrado que, em geral, medidas de controle estão baseadas no desenvolvimento e estabelecimento de Padrões de Qualidade do Ar e Padrões de Emissão Veicular, a fim de fixar limites que contribuam na redução das emissões dos poluentes. Assim, a obtenção de valores referenciais de emissão, a partir de dados coletados em condições reais, pode representar de forma fidedigna o comportamento e a variação das emissões veiculares, obtendo resultados condizentes com a realidade das cidades brasileiras. Mas, como também foi apresentada neste trabalho, a avaliação dos níveis de emissão, assim como sua representação espacial, é um requisito ímpar no fenômeno da poluição ambiental, e, uma ferramenta como os Sistemas de Informação Geográfica torna-se imprescindível nesse sentido.
- Das diversas experiências e aplicações de uso de SIG, foi observado que no Brasil sua utilização ainda é muito incipiente e de pouco aproveitamento das ferramentas de análise espacial. As escassas experiências de uso integrado de SIG e avaliação da poluição das emissões veiculares estão restritas a um nível básico de gerenciamento, consulta de dados e de sinopse de dados espaciais. Isto é muito provável que seja pela falta de estudos mais detalhados a respeito da distribuição de emissões veiculares nos centros urbanos brasileiros.
- Observou-se também que o problema da poluição do ar é bastante complexo e que precisa de um sistema integrado para aquisição, armazenamento, manipulação, recuperação, análise, apresentação e troca de dados ambientais. Desse modo, há grande necessidade de utilização de metodologias que permitam avaliar o nível de poluição do

ar nas áreas urbanas, fazendo uso do SIG no intuito de melhorar o entendimento e a representação do fenômeno das emissões veiculares.

7.4. AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA E SUA APLICABILIDADE

A metodologia foi desenvolvida para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores em áreas urbanas. Como estudo de caso, a proposta metodológica foi aplicada na cidade de Brasília - DF, especificamente no Plano Piloto.

Constatou-se, mediante o estudo de caso, que a metodologia proposta possui grande viabilidade de aplicação em outros locais em que se necessite realizar análises dos níveis de emissão do CO e NO_x derivados de automóveis movidos a gasolina.

Os valores referenciais de emissão veicular de CO e NO_x, obtidos por Filizola (2005), podem ser aplicados em diferentes cidades brasileiras (desconsiderando a altitude). Para isto, a aplicação desses valores, deve considerar o ciclo de motor e as condições estudadas por Filizola (2005). No estudo de caso, a aplicação dos valores referenciais de emissão veicular permitiu determinar a emissão do CO e NO_x nas principais vias do Plano Piloto, simulando as condições reais de operação dos fluxos de veículos.

No estudo de caso, realizou-se uma simplificação ao se calcular o fluxo de veículos na categoria de automóveis movidos a gasolina, segundo uma porcentagem equivalente da frota dessa categoria no DF, possibilitando avaliar a contribuição dessa categoria nas emissões de CO e NO_x nas principais vias do Plano Piloto.

Conforme o analisado no estudo de caso, a representação espacial dos níveis de emissão veicular permitiu identificar, visualmente, os pontos de máxima emissão do CO e NO_x no Plano Piloto. Identificou-se que, o Eixo Monumental, o Eixo Rodoviário e a estrada do Setor Policial Sul apresentam máximos níveis de emissão do CO e NO_x, em comparação com outras vias que compõem o sistema viário do Plano Piloto. O alto volume de veículos nessas vias é produzido pela movimentação da população das cidades satélites para o Plano Piloto, onde se concentram as atividades comerciais, culturais e administrativas do DF. Os altos fluxos de veículos nas vias podem gerar uma menor velocidade média, provocando congestionamentos, e, por conseguinte, maiores níveis de emissão veicular.

7.5. RECOMENDAÇÕES

Durante a aplicação da metodologia proposta, foram identificados alguns pontos que, à medida que as condições permitirem, poderão ser estudados sob uma abordagem diferenciada ou de modo mais aprofundado mencionados a seguir:

- Para um melhor estudo dos níveis de poluição veicular nas cidades, devem-se estimar as emissões de outros poluentes, como o HC e MP, assim como, o fluxo de veículos de todas as categorias circulantes nas vias, podendo, dessa forma, identificar o nível de poluição veicular em sua totalidade na área de estudo.
- Em futuras investigações, a obtenção dos dados do fluxo de veículos das interseções das vias pode permitir avaliar a variação dos níveis de emissão veicular na via, em toda sua extensão. Isto permitirá uma representação espacial de forma linear das vias em estudo, e, realizar análises das emissões veiculares mais aprofundadas.
- Também, é possível realizar em futuros estudos, uma maior precisão das emissões veiculares, a qual considere, os parâmetros meteorológicos como: a direção e velocidade dos ventos, temperatura e altitude, as quais afetam na dispersão dos poluentes veiculares, podendo, com esse estudo, serem realizadas análises da exposição humana aos poluentes atmosféricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEAT** (2004). *Padrões de Emissão da União Européia para Veículos Leves a Gasolina*. Citado em Filizola (2005).
- AKISHINO**, P. (2006) Estudos de Tráfego. Apostila do Curso de Graduação em Engenharia Civil–Universidade Federal do Paraná (UFPR). PR.
- ALMEIDA**, I. T. (1999). *A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo, SP.
- ANFAVEA** (2005). Anuário Estatístico da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – 2005. <http://www.anfavea.com.br/anuarioestatistico>. Último acesso em 2005.
- ANFAVEA** (2006). Anuário Estatístico da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – 2006. Disponível em <http://www.anfavea.com.br/anuarioestatistico>. Último acesso em 2006.
- ASSUNÇÃO**, J. V. (1998). *Poluição Atmosférica*. In: CASTELLANO, E. G., ed. Desenvolvimento sustentado: problemas e estratégias. São Paulo. Academia de Ciências do Estado de São Paulo. São Paulo.
- AZUAGA**, D. (2000). *Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. RJ.
- BALASSIANO**, R. (1991). *Alternativas Tecnológicas para o Ônibus Urbano: Avaliação do Ônibus a Gás Natural Comprimido, do Tróleibus e de seus Impactos Ambientais Atmosféricos*. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- BERTAZZO**, A; CARDOSO, G. e SAUERESSIG, M. (2002). *Controladores Eletrônicos de Velocidade: Metodologia para sua Implementação e Hierarquização dos Trechos Críticos*. XVI Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET, Comunicações Técnicas, pp. 107-114.
- BARROS**, A.P.B.G (2006). *Estudo exploratório da sintaxe espacial como ferramenta de alocação de tráfego*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF.
- BRANCO**, G. M. e WALSH, M. P. (2005). *Controle da Poluição dos Veículos a Diesel. Uma Estratégia para o Progresso no Brasil*. Fundação Hewlett, Rio de Janeiro.
- BRASIL** - CÓDIGO NACIONAL DE TRÂNSITO (2002). *Código de Trânsito Brasileiro: instituído pela Lei nº 9.503, de 23-9-7*, Brasília, DENATRAN.
- BRIGGS**, D. J.; HOUGH, D.; GULLIVER, W.; ELLIOT, P; KINGHAM, S. e BONE, S. K (2000). *A Regression-Based Method for Mapping Traffic-Related Air Pollution*:

Application and Testing in Four Contrasting Urban Environments. The Science of the Total Environment 253, pp. 151-167. Citado em Matejicek (2005).

BRUCKMAN, L.; **DICKSON**, R. J. e **WILKOSEN**, J. G. (1992). *The Use of GIS Software in the Development of Emissions Inventories and Emission Modeling*. In: Proceedings of the Air and Waste Management Association, Pittsburg, PA. USA. Citado em Patil *et al.* (2003).

BURROUGH, P. A. e **MCDONNELL**, R. A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press. Oxford. USA. Citado em: Matejicek *et al.* (2005).

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1997). Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 1996. São Paulo, SP.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1997). *Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 1998*. São Paulo, SP.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1998). *Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 1997*. São Paulo, SP.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2004) *Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2003*. São Paulo, SP.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2006) *Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2005*. São Paulo, SP.

CHOU, Y. H. (1996). *Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems*. On Word Press – Santa Fe, EUA.

CLARAMUNT, C.; **JIANG**, B. e **BARGIELO**, A. (2000). *A New Framework for the Integration, Analysis and Visualisation of Urban Traffic Data Within Geographic Information System Network*. Transportation Research, Part D (Transport and Environment), 8: 307 -320.

CONAMA (1990). *Padrões Nacionais de Qualidade do Ar*. Resolução CONAMA Nº 03 de 28/06/90. Citado em CETESB (2004).

CONCAWE (1994). *Evolução dos Padrões de Emissão para Veículos Leves a Gasolina*. Citado em Filizola (2005).

CONTRAN – CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (1998). Resolução Nº23/98 – Define e estabelece os requisitos mínimos necessários para autorização e instalação de instrumentos eletrônicos de medição de velocidade de operação autônoma e

Resolução nº 79/98 - Estabelece a sinalização indicativa de fiscalização, 1998, Brasília, DF.

CYBIS, H. e **JACONDINO**, G. (2002). *Avaliação de Modelos de Emissão de Poluentes em Simuladores de Tráfego*. Anais do XVI Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET. Volume 1, Rio de Janeiro, RJ.

DANTAS, A. S.; **TACO**, P. W. G. e **YAMASHITA**, Y. (1996). *Sistemas de Informação Geográfica em Transportes: O Estudo do Estado da Arte*. Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. Brasília DF. Brasil.

DECICCO, J. e **THOMAS**, M. (1998). *Rating the Environmental Impacts of Motor vehicles: The green Guide to Cars and Trucks Methodology, 1998 Edition*. American Council for an Energy – Efficient Economy, Washington, D.C. Citado em Azuaga (2000).

DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (1980). *Tráfego e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro, RJ.

DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (2005). *Frota de Veículos por Ano de Fabricação segundo as Regiões e Unidades de Federação – Setembro de 2004*. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/estatisticas>. Último acesso em 2005.

DERISIO, J. C. (2000) *Introdução ao controle de poluição ambiental*. São Paulo, SP.

DIESELNET (2004). *Emission Standards*. Disponível em <http://www.dieselnet.com/standards.html>. Último acesso em 23/08/2004.

EASA, S. e **CHAN**, Y. (1999). *Urban planning and development applications of GIS*. American Society of Civil Engineers. Geographic Information Systems. USA.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2000). *Federal and California Exhaust and Evaporative Emission Standards for Light-Duty Vehicles and Light-Duty Trucks*. United States Environmental Protection Agency. USA.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2004). *US Environmental Protection Agency Green Vehicle Guide*. Disponível em www.epa.gov/greenvehicles/. Último acesso em 2005.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2005). *US Environmental Protection Agency Green Vehicle Guide*. Disponível em www.epa.gov/greenvehicles/. Último acesso em 2005

FAIZ, A.; **SINHA**, K; **WALSH**, M. P. e **VARMA**, A. (1990). *Automotive Air pollution: Issues and Options for Developing Countries*. Infrastructure and Urban Development Department, The World Bank, Washington – D.C.

- FAIZ, A.; WEAVER, C.S. e WALSH, M. P. (1996).** *Air pollution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions*. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington, D.C.
- FEEMA – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE (2002).** *Poluição de Veículos*. Rio de Janeiro – RJ. [on-line] http://www.feema.rj.gov.br/poluicao_de_veiculos.htm. Último acesso em 2005.
- FENABRAVE – FEDERAÇÃO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (2005).** Semestral da Distribuição de Veículos Automotores no Brasil – 2004. São Paulo. SP.
- FILIZOLA, I. M. (2005).** *Identificação de valores referenciais do nível de emissão de gases veiculares automotores leves do ciclo Otto*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF.
- FOX, K.; CLARK, S. D.; BODDY, R.; MONTGOMERY, F. O. e BELL, M. C. (1998).** *Some Benefits of SCOOT UTC System: An Independent Assessment by Micro-Simulation*. Traffic Engineering and Control, September, pp. 484-489. Citado em Oliveira, 2004.
- GUALTIERI, G. e TARTAGLIA, M. (1998).** *Predicting Urban Traffic Air Pollution: A GIS Framework*. Transportation Research, Part D, vol. 3, nº 5, pp. 329-336.
- GOMES, S. M. D.; SILVA, M. A.; FIGUEIREDO, M. A. G. de (1994).** *Estudo do Impacto da Utilização dos Oxigenados na Redução das Emissões Veiculares*, Trabalho da Disciplina Impactos Ambientais de Projetos Energéticos do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- HEALTH CANADÁ (2003).** Disponível em: http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/air_quality. Citado em Szwarcfiter (2004).
- IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (1998).** *Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – PROCONVE*. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 2ª Edição, Brasília – Coleção Meio Ambiente, Série Diretrizes – Gestão Ambiental, nº 2.
- IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (2000).**
- IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (2004).** *Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – PROCONVE/PROMOT*. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 2ª Edição, Brasília – Coleção Meio Ambiente, Série Diretrizes – Gestão Ambiental, nº 2.

- IPEA/ANTP** (1997). *Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público*. In Revista dos Transportes Públicos – ANTP, ano 21, 1º trimestre, pp. 34-92.
- JEA – JAPAN ENVIRONMENT AGENCY** (2004).
- JENSEN, S. S.** (1998). *Mapping Human Exposure to Traffic Air Pollution Using GIS*. Journal of Hazardous Materials, nº 61, pp. 385-392.
- JENSEN, S. S.; BERTOWICZ, R; HANSEN, H. S. e HERTEL, O.** (2001). *A Danish Decision-Support GIS Tool for Management of Urban Air Quality and Human Exposures*. Transportation Research, Part D, v. 6, pp. 229-241.
- KOUSA, A.; KUKKONEN, J.; KARPPINEN, A.; AARINO, P. e KOSKENTALO, T.** (2002). *A Model for Evaluating the Population Exposure to Ambient Air Pollution in an Urban Area*. Atmospheric Environment, 36: 2109 –2119.
- LANDMANN, M. C.** (2004). *Estimativa das Emissões de Poluentes dos Automóveis na RMSP Considerando as Rotas de Tráfego*. II Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade – ANPPAS. Maio, Indaiatuba, São Paulo, Brasil. Disponível em: http://www.anppas.org.br/encontro/segundo/papers/GT/GT11/marcelo_camilli.pdf. Último acesso em 25 de maio de 2005.
- LI, X.; WANG, W.; LI, F. e DENG, X.** (1999). *GIS Based Map Overlay Method for Comprehensive Assessment of Road Environment Impact*. Transportation Research, Part D, vol. 4, pp. 147-158.
- LORA, E. S.** (2000) *Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energéticos, Industriais e de Transportes*. ANEEL, Brasília – DF.
- MATEJICEK, L.** (2005). *Spatial Modelling of Air Pollution in Urban Areas with GIS: A Case Study on Integrated Database Development*. Institute for Environmental Studies, Charles University, Prague, 128 01, Czech Republic.
- MATEJICEK, L.; BENESOVA, L. e TONIKA, J.** (2005). *Environmental Modelling in Urban Areas with GIS*. Institute for Environmental Studies, Charles University, Prague, 128 01, Czech Republic.
- MARGULLIS, S.** (1990). *Meio Ambiente: Aspectos Técnicos e Econômicos*, IPEA, Rio de Janeiro. RJ.
- MARTINS, J. A. e SANTOS, M. P. S.** (1998). *O Índice Topológico como Parâmetro Urbanístico para Monitorar a Capacidade Ambiental de Vias Urbanas*. XII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET. Vol. 1, pp. 413-425. Fortaleza, Ceará.
- MARTINS, J. A.** (1999). *Qualidade ambiental urbana para todos*. Revista CREA RJ, nº 24, maio/junho. RJ.

- McSHANE**, W. R. e **ROESS**, R. P. (1990). *Traffic Engineering*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. Citado em Oliveira (2004).
- MAVROULIDOU**, M.; **HUGHES**, S. J. e **HELLAWELL**, E. E. (2004). *A Qualitative Tool Combining an Interaction Matrix and a GIS to Map Vulnerability to Traffic Induced air Pollution*. Journal of Environmental Management, vol. 70, pp. 283-289.
- MEDINA**, I. C.; **SCHATTANEK**, G. e **NICHOLS**, F. JR. (1994). *A Framework for Integrating Information Systems in Air Quality Analysis*. In: Proceedings of URISA 1994, 32^a Annual Conference, Milwaukee, WI (EUA), pp. 339. Citado em Patil *et al.* (2003).
- MENSINK**, C.; **VLIEGER**, I. e **NYS**, J. (2000). An Urban Transport Emission Model for the Antwerp Area. Atmospheric Environment, Elsevier, Amsterdam, vol. 34, pp. 4595-4602.
- MILLER**, J. T. Jr. (2000). *Living in the Environment. Principles, Connections, and Solutions*. Brooks/Cole Publishing Company, 10th edition.
- MORAGUES**, A. e **ALCAIDE**, T. (1996). *The Use of a Geographical Information System to Assess the Effect of Traffic Pollution*. Science of the Total Environment 190: 267-273.
- MOREIRA**, D. e **TIRABASSI**, T. (2004). *Modelo Matemático de Dispersão de Poluentes na Atmosfera: Um Instrumento Técnico para a Gestão Ambiental*. Ambiente & Sociedade, vol. VII, nº 2 jul/dez. RS.
- MURGEL**, E. M.; **SZWARC**, A.; **SANTOS**, M. D.; **BRANCO**, G. M. e **CARVALHO**, H. (1987). *Inventário de Emissão Veicular: Metodologia de Cálculo*, Revista de Engenharia Sanitária, vol.26, nº 3.
- NAMDEO**, A. K.; **MITCHELL**, G. e **DIXON**, R. (2002). *TEMMS: An Integrated Package for Modelling and Mapping Urban Traffic Emissions and Air Quality*. Environmental Modelling & Software, 17: 179–190.
- NBR-6601** (2001). *Veículos Rodoviários Automotores Leves – Determinação de Hidrocarbonetos, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrogênio e Dióxido de Carbono no Gás de Escapamento*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.
- OLIVEIRA**, M. V. T. (2004). *A Natureza dos Padrões de Variação Espaço-Temporal do Volume Veicular em Ambiente Urbano: Estudo de Caso em Fortaleza*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- ONURSAL**, B. e **GAUTAM**, S. P. (1995). *Contaminación Atmosférica por Vehículos Automotores: Experiências Recorridas en Siete Centros Urbanos de América Latina*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial, Washington, D.C.

- OSSES, M.; DURSBECK, F. e CORVALÁN, R. (2001).** *Modelo de Emisión de Contaminantes Atmosféricos Producidos por Transporte Urbano: El Caso de Santiago de Chile*. Universidad de Chile. Santiago. Chile.
- PATIL, U.; RAVAN, S. e KAUSHAL, A. (2003).** *GIS based Air Pollution Surface Modelling*. Department of Animal Husbandry, Government of Maharashtra, India. GIS@Development, August.
- PULIAFITO, S. E.; GANTUZ, M. A. e PULIAFITO, C. M. (2004).** *A GIS Model for Urban Air Quality Analysis*. Mecánica Computacional, vol. XXIII, G. Buscaglia, E. Dari, O. Zamonsky (Eds.). November, Bariloche, Argentina.
- RAHMATIZADEH, SH.; DELAVAR, M. R., e MOTESADDI, S. (2002).** *Design and Development of a Customised GIS for Air Quality Management*. Faculty of Surveying Engineering, KNT University. Dept. of Surveying and Geomatic Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran.
- RIBEIRO, R. A. e DOMINGUEZ, E. M. (2005).** *Distribuição espacial da poluição atmosférica: estudo de uma rede de transporte público de Porto Alegre*. Pôster - 182. Anais do Congresso Luso Brasileiro para o Plajenamento Urbano Regional Integrado Sustentável – PLURIS 2005. São Carlos, SP, Brasil, CD-ROM.
- SALA, J. F. (1999).** *Valoração dos Custos Ambientais Relacionados à Saúde – Estudo de Caso: Setor de Transportes da Cidade de São Paulo*. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A. e BRAGA, A. (1995).** *Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana*. Faculdade de Medicina da USP. São Paulo, SP.
- SANTOS, M. P. S. (1981).** *A Study of the Assessment of Fuel Consumption and Exhaust Emissions from Road Vehicles as Influenced by Driving Patterns*. Master of Science Thesis – Imperial College of Science and Technology, London. Citado em Azuaga (2000).
- SENGUPTA, S.; PATIL, S. R. e VENKATACHALAM, P. (1996).** *Assessment of Population Exposure and Risk Zones Due to Air Pollution Using the Geographical Information System*. Computers, Environment and Urban Systems, vol. 20, nº 3, pp. 191-199.
- SHARMA, N.; BHANDARI, K; RAO, P. e SHUKLA, A. (2003).** *GIS Applications in Air Pollution Modeling*. Scientists, Central Road Research Institute, Mathura Road, New Delhi. Disponível em <http://www.gisdevelopment.net/application/environment/air/mi03220pf.htm>. Último acesso em 19 de novembro de 2004.
- SILVA, P.C.M. (2001).** *Engenharia do Tráfego: Elementos do sistema de tráfego*. Apostila, Brasília – DF.

- SIKDAR**, K. (2001). *A Framework for Evaluation of Transport Development and Management Option Using Pollution Profile Technique*. Paper presented at the Workshop on Land Use, Transport and Environment (Proceedings), Organized by CIRT, PUNE and Harvard University (USA). December, India. Citado em Patil *et al.* (2003).
- SOULEYRETTE**, R. R.; **SATHISAN**, S.K.; **JAMES**, D. E. e **LIM**, S. (1992). *GIS for transportation and air quality analysis*. Proceedings of the National Conference on Transportation Planning and Air Quality. ASCE, New York (USA), pp. 182 –194.
- STUMPF**, M.T. (1999). *Análise dos Efeitos da Barreira Eletrônica com Informador de Velocidade sobre a Operação de Tráfego*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília DF.
- SZWARCFITER**, L. (2004). *Opções para o Aprimoramento do Controle de Emissões de Poluentes Atmosféricos por Veículos Leves no Brasil: Uma Avaliação do Potencial de Programas de Inspeção e Manutenção e de renovação Acelerada da Frota*. Tese, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. RJ.
- VAZ DE MELO**, C. R. (2004). *Desenvolvimento de uma Metodologia para Determinar os Níveis de Emissão do Escapamento de Veículos Automotores Leves do Ciclo Otto em Condições Reais de Operação*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF.
- WANG**, X. H.; **SHI**, J.; **HUANG**, H. X. e **HUANG**, J. (2004). *Traffic-Related Air Quality Analysis and Visualization*. International Society for Environmental Information Sciences – ISEIS. Environmental Informatics Archives, vol. 2, pp. 972-976. EIA04-098. ISEIS Publication #002.
- WHO** – WORLD HEALTH ORGANIZATION (1999). *Urban Traffic Pollution*. Edit by Dietrich Schwela and Oliver Zali. Canadá.
- YAMASHITA**, Y. (2001). *Transporte e Meio Ambiente: Poluição do Ar*. Apostila, Brasília DF.
- ZILIASKOPOULOUS**, A. K. e **WALLER**, S. T. (2000). *An Internet Based Geographic Information System that Integrates Data, Models and Users for Transportation Applications*. Transportation Research, Part D (Transportation and Environment), 8: 427-444.