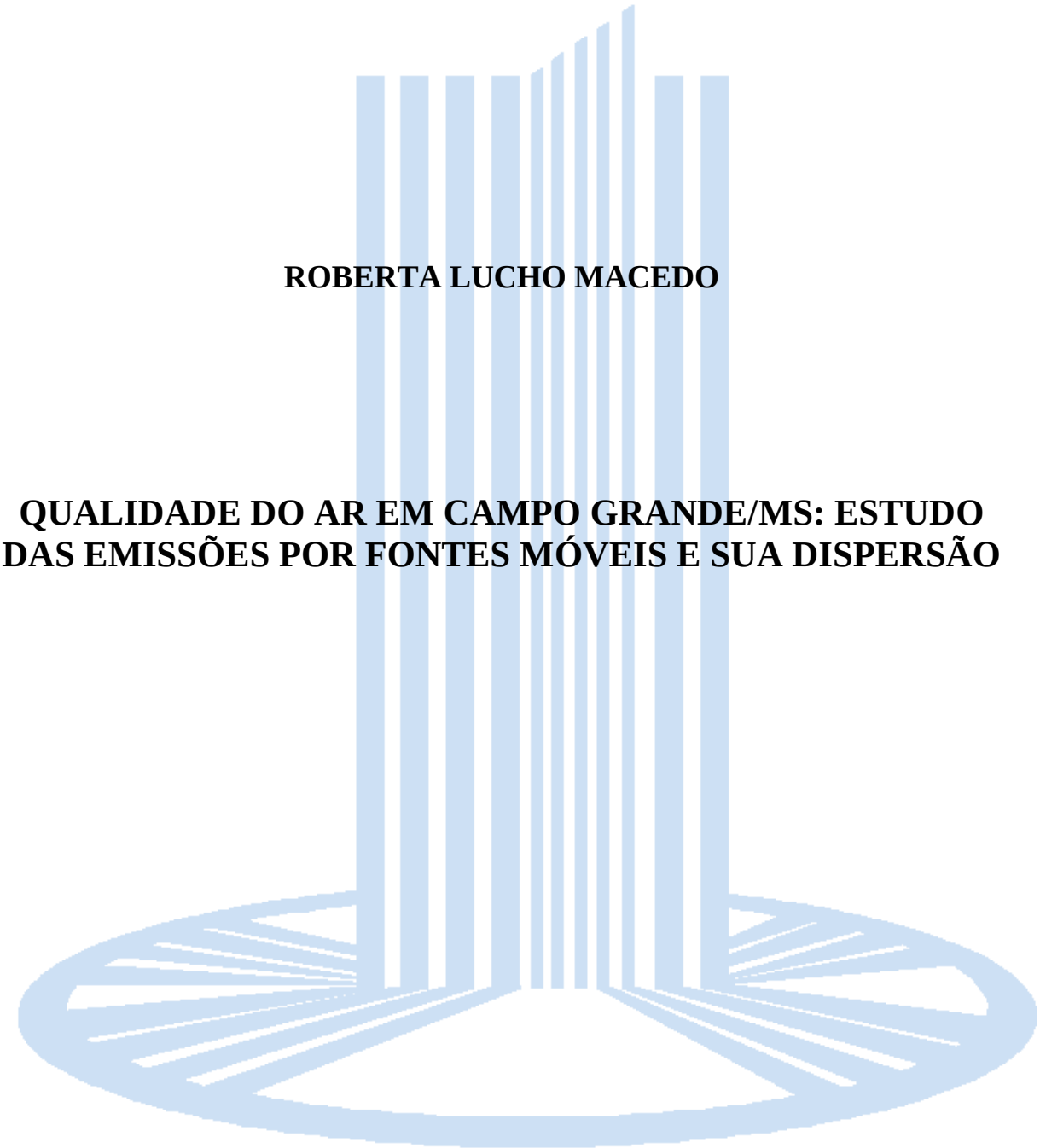
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS



ROBERTA LUCHO MACEDO

QUALIDADE DO AR EM CAMPO GRANDE/MS: ESTUDO DAS EMISSÕES POR FONTES MÓVEIS E SUA DISPERSÃO

CAMPO GRANDE – MS

2012

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

ROBERTA LUCHO MACEDO

QUALIDADE DO AR EM CAMPO GRANDE/ MS: ESTUDO DAS EMISSÕES POR FONTES MÓVEIS E SUA DISPERSÃO

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Widinei Alves Fernandes
Co-orientadora: Prof.ª Dr.ª Alexandra Penedo de Pinho

CAMPO GRANDE – MS

2012

Folha de Aprovação

Qualidade Do Ar Em Campo Grande/MS: Estudo das Emissões por Fontes Móveis e sua Dispersão

Aprovada em: 16/04/2012

Banca examinadora:

_____

Prof. Dr. Widinei Alves Fernandes

Físico, Doutor em Geofísica Espacial

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

_____

Prof. Dr. Edson Kassar

Físico, Doutor em Meteorologia

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

_____

Prof. Dr. Clovis Lasta Fritzen

Físico, Doutor em Física

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos aqueles que buscam tornar seus sonhos realidade e não se deixam abater pelos desafios encontrados em suas vidas,

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a **Deus** pelo dom da vida, e que por Sua infinita bondade nos dá a oportunidade de aperfeiçoamento moral, espiritual e mental todos os dias;

Aos meus pais, primeiros e maiores mestres de minha vida, **Roberto** e **Graça**, pelo incentivo ao estudo, carinho e apoio;

Ao meu noivo **Bruno**, pelo apoio e amor, o qual foi meu sustendo nas horas de dificuldades;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - **CAPES**, pela bolsa de estudo concedida.;

Ao Professor Dr. **Teodorico Alves Sobrinho**, coordenador do PGTA, pelo apoio e confiança;

À **Letícia**, secretária PGTA, pelo socorro nos momentos burocráticos e administrativos;

A todos os **professores do PGTA**, pelos ensinamentos, em especial Professor Dr. **Hamilton Germano Pavão** também pela oportunidade de estágio de docência o qual foi de grande valia e aprendizado e por sempre estar disponível para orientações;

A todos os funcionários do Departamento de Hidráulica e Transportes, pela colaboração

Ao pessoal do **laboratório LCA da UFMS**, em especial ao **Robson Jaques**, mestrando do PGTA, por seu apoio com programas de computador.

Agradecimento em especial aos funcionários e professores do **Laboratório de Biofisiofarmacologia CCBS da UFMS**, pelo espaço cedido, pelo café e pela prosa e por sempre me esperarem para o fechamento do laboratório.

Agradeço pelos dados fornecidos por **Paulo Pereira de Souza**, coordenador do LABSENAI Meio Ambiente- FATEC / SENAI de Campo Grande; **Rosinei Alves de Barros**, fiscal de rendas / GFST / SEFAZ - MS; **Dante Carlos Vignoli**, ASTIN / DETRAN – MS e **Cátia Braga**, meteorologista do CEMTEC / AGRAER – MS.

Ao **Silvio de Oliveira**, presidente SECA, pela ajuda na aquisição do modelo AERMOD.

Agradeço aos estagiários **Camilla** e **Tiago**, estudantes de Engenharia Sanitária e Ambiental da UCDB, meus futuros colegas.

Aos meus orientadores, Professor Dr. **Widinei Alves Fernandes** e Professora Dra. **Alexandra Penedo de Pinho**, obrigada pelas orientações;

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS viii
LISTA DE TABELAS xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS xii
LISTA DE SÍMBOLOS xiv
RESUMO xv
ABSTRACT xvi
1. Introdução 17
2. Objetivos 21
2.1. Objetivo Geral 21
2.2. Objetivos Específicos 21
3. Revisão Bibliográfica 22
3.1. Definições 22
3.2. Legislação e Qualidade do Ar 24
3.3. Poluentes Atmosféricos e seus Efeitos 31
3.3.1. Monóxido de Carbono 31
3.3.2. Dióxido de Carbono 32
3.3.3. Óxidos de Nitrogênio 33
3.3.4. Material Particulado 35
3.3.5. Hidrocarbonetos 37
3.3.6. Saúde e Bem-estar 37
3.3.7. Efeitos sobre a Vegetação e os Materiais 41
3.3.8. Diminuição da Camada de Ozônio 42
3.3.9. Chuva Ácida 43
3.3.10. Efeito Estufa e Mudanças Climáticas 44
3.4. Poluição Atmosférica por Veículos Automotores 47
3.4.1. Fabricação e Crescimento da frota de Veículos Automotores 47
3.4.2. Poluição por Veículos 49
3.4.3. . Motor e Combustível 52

3.5. Inventário das Emissões Veiculares e Fatores de Emissão 54
3.6. Meteorologia e Dispersão Atmosférica 57
3.7. Modelagem de Dispersão Atmosférica 61
3.8. O Modelo de Dispersão AERMOD 63
4. Metodologia 70
4.1. Região de Estudo 70
4.2. Inventários dos Poluentes 72
4.3. O Modelo AERMOD 79
5. Resultados e Discussões 86
5.1. Frota em Campo Grande 86
5.2. Taxas de Emissão 89
5.3. Análise da Dispersão em um Trecho da Avenida Costa e Silva 104
5.3.1. Carros de Passeio 107
5.3.2. Motocicletas 110
5.3.3. Caminhões Pesados 115
5.3.4. Meteorologia 120
6. Conclusões e Recomendações 125
7. Referências Bibliográficas 127
ANEXO A 133
ANEXO B 139
ANEXO C 141
ANEXO D 143

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Interação dos Poluentes na Atmosfera. 24

Figura 3.2: Diminuição de Emissão de Monóxido de Carbono para Veículos Leves a Álcool e a Gasolina. 29

Figura 3.3: Ciclo do $NO_{x.}$ 34

Figura 3.4: Esquema Fonte – Receptor. 38

Figura 3.5: Sistema Respiratório Humano. 39

Figura 3.6: Emissões Globais de CO_2. 46

Figura 3.7: Crescimento do Número de Carros, Caminhões e Ônibus Fabricados no Brasil. 48

Figura 3.8: Relação Ar/Combustível. 53

Figura 3.9: Caracterização da pluma dada pelo AERMOD. 64

Figura 3.10: Exemplo do Efeito "*Downwash*". 66

Figura 3.11: Estrutura Geral do Sistema de Modelagem do AERMOD. 67

Figura 4.1: Mapa do Brasil, em destaque a capital do Mato Grosso do Sul, Campo Grande. 70

Figura 4.2: Vista da Avenida Costa e Silva, Campo Grande – MS. 71

Figura 4.3: Divisão da Superfície em Estudo Setor Urbano. 80

Figura 4.4: Vias Destinadas à Contagem e observação de Veículos na Avenida Costa e Silva e Modelagem da Dispersão. 82

Figura 4.5: Detalhe das Vias em Estudo no Modelo de Dispersão AERMOD. 85

Figura 5.1: Distribuição da frota de Campo Grande, no ano de 2010, de acordo com o combustível utilizado. 86

Figura 5.2: Distribuição da frota por Categoria de Veículo em Campo Grande, no Ano de 2010. 87

Figura 5.3: Gráfico da Distribuição das Emissões de Poluentes. 90

Figura 5.4: Gráfico das Emissões Totais de CO em 2010. 92

Figura 5.5: Gráfico das Emissões Totais de CO_2 em 2010 para Veículos fabricados de 2002 a 2010. 93

Figura 5.6:Gráfico das Variações de Emissões de HC em Campo Grande. 94

Figura 5.7: Gráfico das Emissões Totais de Hidrocarbonetos em 2010 para os Combustíveis Gasolina e Álcool. 95

Figura 5.8: Gráfico das Emissões de Material Particulado em 2010. 96

Figura 5.9: Gráfico das Emissões de Óxido de Nitrogênio. 97

Figura 5.10: Gráfico das Variações das Emissões para a Frota de Ônibus. 99

Figura 5.11: Gráfico da Porcentagem das Emissões para a Frota de Ônibus. 100

Figura 5.12: Gráfico das Variações das Emissões para a Frota de Caminhões. 101

Figura 5.13: Gráfico da Porcentagem das Emissões para a Frota de Caminhões. 102

Figura 5.14: Gráfico das Emissões para Motocicletas em Campo Grande. 103

Figura 5.15: Porcentagem das Emissões para Motocicletas em Campo Grande no ano de 2010. 104

Figura 5.16: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima de 1 hora para CO. 107

Figura 5.17: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima de 24 horas para MP. 108

Figura 5.18: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima anual para MP. 109

Figura 5.19: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima em 01 hora para NO_x. 110

Figura 5.20: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima em 1 hora para CO. 111

Figura 5.21: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima em 24 horas para o MP. 112

Figura 5.22: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima anual do poluente MP. 113

Figura 5.23: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima horária do poluente NO_x. 114

Figura 5.24: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima Anual do Poluente NO_x para Motocicletas.. 115

Figura 5.25: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima horária para CO. 116

Figura 5.26: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima em 24 horas do poluente MP 117

Figura 5.27: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima Anual do Poluente MP. 118

Figura 5.28: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima em 1 hora para o NO_x. 119

Figura 5.29: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima Anual do Poluente NO_x. 120

Figura 5.30: Rosa dos Ventos para Dados Meteorológicos de 2003 a 2010. 121

Figura 5.31: Gráfico de Classes de Estabilidade para os Dados Meteorológicos de 2003 a 2010. 122

Figura 5.32: Gráfico de Classes de Estabilidade para os Dados Meteorológicos de 2010. 123

Figura 5.33: Rosa dos Ventos para Dados Meteorológicos do ano de 2010. 124

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Padrão de Poluentes Regulamentados pela Resolução CONAMA 03 de 1990. 25

Tabela 3.2: Fatores médios de Emissão de Veículos Leves, Diminuição dos Valores ao Longo dos Anos. 29

Tabela 3.3: Classes de Estabilidade de Pasquill. 60

Tabela 4.1: Número de Veículos Circulantes, de acordo com o combustível, em Campo Grande no ano de 2010. 73

Tabela 4.2: Fatores Médios de Emissão de Veículos Pesados Novos. 76

Tabela 4.3: Fatores Médios de Emissão para Motocicletas e Veículos Similares. 77

Tabela 4.4: Quantidade de Combustível Vendida em Campo Grande no Ano de 2010. 78

Tabela 4.5: Categorias de Velocidades do Vento. 81

Tabela 4.6: Fatores Médios de Emissão para o modelo AERMOD. 83

Tabela 5.1: Número de veículos circulantes licenciados em Campo Grande no ano de 2010, de acordo com o tipo de combustível utilizado. 88

Tabela 5.2: Variação de Preço de Combustível Álcool e Gasolina nos últimos anos em Reais por litro. 88

Tabela 5.3: Estimativa da Quantidade de Poluentes Lançados na Atmosfera de Campo Grande no Ano de 2010 em g/ano. 89

Tabela 5.4: Emissões Totais por Categoria de Veículos em T/ano. 90

Tabela 5.5: Emissões Totais por Combustível no Ano de 2010. 91

Tabela 5.6: Taxas de Emissões para as Categorias a Diesel em 2010. 96

Tabela 5.7: Estimativas das Emissões Totais de Poluentes para Motocicletas. 102

Tabela 5.8: Número de Veículos Circulantes na Avenida Costa e Silva. 106

Tabela 5.9: Concentração de Poluentes Emitidos em um Período de 03 Horas na Avenida Costa e Silva por Categoria. 107

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADMS	*Advanced Dispersion Modeling System*
AERMAP	*AERMOD Terrain Processor*
AERMET	*AERMOD Meteorological Processor*
AERMOD	*AMS/EPA Regulatory Model*
AMS	*American Meteorological Society*
ANFAVEA	Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores - Brasil
ASG	*Atmospheric Studies Group*
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CLC	Camada limite convectiva
CLE	Camada limite estável
CLP	Camada Limite Planetária
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTDMPLUS	*Complex Terrain Dispersion Model Plus Algorithms for Unstable Situations*
DEM	*Digital Elevation Model*
DETRAN	Departamento Nacional de Trânsito
EPA	*Environmental Protection Agency*
g	Gramas
HPDM	*Hybrid Plume Dispersion Model*
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPCC	*International Panel on Climate Change*
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
ISC3	*Industrial Source Complex Model*

K	*Kelvin*
Km	Quilômetros
m	Metros
m/s	Metros por segundo
mb	Milibar
mm/h	Milímetros por hora
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ONU	Organização das Nações Unidas
PCPV	Plano de Controle da Poluição Veicular
PINEAVAR	Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários
ppm	Parte por milhão
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROMOT	Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares
PRONAR	Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar
T	Toneladas
UTM	*Universal Transverse Mercator*
UV	Ultravioleta
W/m^2	Watts por metro quadrado
WGS	*World Geodetic System*

LISTA DE SÍMBOLOS

µm	Micrometro
CFCs	Clorofluorcarbonetos
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
COHb	Carboxihemoglobina
H_2CO_3	Ácido carbônico
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
HC	Hidrocarbonetos
MP	Material particulado
N_2O	Óxido nitroso
N_2O_5	Dinitrogênio pentóxido
NH_3	Amônia
NH_4	Amônio
NO	Óxido nítrico
NO_2	Dióxido de nitrogênio
NO_x	Óxido de nitrogênio
O_2	Oxigênio
O_3	Ozônio
PTS	Partículas totais em suspensão
SO_2	Dióxido de enxofre
λ	Lambda

RESUMO

MACEDO, R. L. (2012). *Qualidade do Ar em Campo Grande – MS: Estudo das Emissões por Fontes Móveis e sua Dispersão. Campo Grande, 2012. 146 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.*

Nos centros urbanos existe uma grande contribuição de poluentes atmosféricos provenientes de fontes móveis, reduzindo a qualidade do ar e, consequentemente aumentando a incidência de problemas respiratórios na população local. O Município de Campo Grande/MS além de apresentar uma frota veicular em franco crescimento, apresenta condições de baixa umidade relativa do ar, principalmente no inverno com ventos com baixas velocidades, que propiciam à má dispersão dos poluentes na atmosfera. Esta condição intensifica a exposição da população aos poluentes atmosféricos, aumentando os efeitos sobre a saúde e o bem-estar da população local. Visando auxiliar a tomada de decisões antes da ocorrência de episódios críticos de poluição atmosférica, para proteger a população é importante que sejam conhecidas as concentrações e os poluentes lançados na atmosfera, e a sua distribuição espacial em torno das vias públicas. Assim, este trabalho teve como objetivo realizar o inventário das emissões de fontes móveis, obtendo-se as quantidades de poluentes emitidos pela frota em uma região de grande tráfego de automóveis utilitários e caminhões, onde centenas de estudantes circulam diariamente. Adicionalmente, foram avaliados a dispersão e o transporte dos poluentes na atmosfera, com a utilização do software AERMOD.

Palavras -chave: Poluição atmosférica, emissões veiculares, modelo de dispersão

ABSTRACT

MACEDO, R. L. (2012). *Air Quality in Campo Grande - MS: Study of Emissions from Mobile Sources and its Dispersion. Campo Grande, 2012. 146 p. Master Dissertation –Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil (in Portuguese).*

In urban centers there is a significant contribution of air pollutants from mobile sources, reducing air quality and thus increasing the incidence of respiratory problems in the local population. The city of Campo Grande / MS in addition to presenting a rapidly growing vehicle fleet, presents conditions of low relative humidity, especially in winter with low wind speeds, which allow the poor dispersion of pollutants in the atmosphere. This condition intensifies the exposure to air pollutants, increasing the effects on the health and well-being of local people. Aiming to assist the decision-making before the occurrence of critical episodes of air pollution, to protect the population it is important to known concentrations and pollutants emitted into the atmosphere, and their spatial distribution around the streets. This work was aimed at making an inventory of mobile sources emissions, to obtain the quantities of pollutants emitted by the fleet in an area with heavy traffic of cars and utility trucks, where hundreds of students circulate daily. In addition, the dispersion and transport of the pollutants in the atmosphere, were evaluated using software AERMOD.

Key-words: Air quality, vehicle emission, dispersion model.

1. Introdução

A contaminação da atmosfera com poluentes emitidos por fontes móveis é crescente e diretamente proporcional ao desenvolvimento urbano. Consequentemente, a redução da qualidade do ar pode resultar no aumento de casos de problemas respiratórios da população.

Há evidências arqueológicas de que o homem sofre com a poluição do ar em suas residências desde a descoberta do fogo (Philippi Jr & Malheiros, 2005). Referências quanto à poluição atmosférica e ao controle do uso do carvão foram feitas ao longo da história (Philippi Jr & Malheiros, 2005), porém os primeiros problemas relatados em relação à qualidade do ar decorrem do século XVIII devido à fumaça e cinzas emitidas pela queima de carvão e óleo nos primeiros centros urbanos (Colls, 2002; Assunção & Malheiros, 2005). Ao longo dos anos vários eventos de consequências graves ocorreram, principalmente no século XX, demonstrando que a poluição do ar é uma ameaça à saúde pública. Estes eventos denominados agudos se caracterizam pela pequena duração (horas ou dias) e por provocar grandes prejuízos (Assunção, 2004). O episódio considerado mais grave na literatura (Assunção, 2004; Colls, 2002) ocorreu em 1952, em Londres, que teve duração de cinco dias e causou a morte de mais de quatro mil pessoas. Este episódio ocorreu devido às grandes concentrações de fumaça (material particulado) e dióxido de enxofre na atmosfera e agravado pelas condições climáticas desfavoráveis à dispersão no mesmo período, provocando inversão térmica e neblina (*smog*). Ainda segundo este autor, o primeiro evento de *smog* noticiado no Brasil ocorreu em São Paulo em 1972, provocado por emissões veiculares e industriais e inversão térmica, deixando a cidade coberta por uma espessa nuvem.

Em decorrência das mudanças climáticas, do aquecimento global, do buraco na camada de ozônio e dos efeitos da poluição atmosférica inúmeros estudos, reuniões e convenções, além da elaboração de legislação para a proteção da vida e a manutenção da qualidade do ar surgiram ao redor do mundo. No Brasil, houve uma demora, mas não foi diferente.

A Constituição Brasileira de 1988, em seu capítulo VI, artigo 225, estabelece que todos têm o direito de viver em um ambiente ecologicamente equilibrado, o qual é um bem de uso comum e essencial à sadia qualidade de vida, tendo o poder público e a coletividade o dever de defendê-la e preservá-la para as presentes e futuras gerações.

A Resolução CONAMA 05 de 1989 institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, devido ao aumento acelerado do crescimento urbano, industrial e da frota de veículo automotores e seus reflexos negativos à sociedade, economia e meio ambiente. Essa Resolução tem como objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica. Em 1990, foram instituídos os limites de emissões e os padrões de qualidade do ar pela Resolução CONAMA 03.

Em uma da série de reuniões internacionais mediadas pela Organização das Nações Unidas – ONU, a Eco Rio, como ficou conhecida, ocorrida em 1992 teve como resultado a Agenda 21, que em relação à poluição do ar tratou principalmente de medidas para a mitigação da poluição global e a poluição urbana (Assunção & Malheiros, 2004).

O fenômeno da urbanização representa não só o aumento e a concentração da população nas cidades como também, o aumento da necessidade de transporte nestas regiões, que tendem a se expandir. Segundo Álvares Jr *et al.* (2002) a forma encontrada para atender a esta necessidade é o aumento da malha viária, de uma forma a proporcionar o escoamento da frota, o que hoje se mostra não mais eficiente, devido à escolha preferencial de meios de transporte individuais e não coletivos.

Segundo Álvares Jr *et al.* (2002), 90% da poluição atmosférica em centros urbanos são causados por fontes móveis. Uma grande quantidade de gases tóxicos é emitida por veículos automotores a cada segundo, como por exemplo, o monóxido de carbono, os óxidos de nitrogênio e os materiais particulados, além de dióxido de carbono, um gás agravante para o temido e discutido aquecimento global. Apesar do aprimoramento tecnológico dos motores e da produção de combustíveis mais puros, o número crescente da frota mundial contribui largamente para a poluição atmosférica. No ano de 2011 a frota brasileira atingiu 70,5 milhões de veículos, entre carros de passeio, comerciais leves, caminhões, ônibus e

motocicletas, este número é 121% maior se comparada à frota que circulante dez anos antes no país (Moreira, 2012). Neste mesmo período, a população brasileira cresceu 12%.

As altas concentrações de poluentes na atmosfera são danosos à saúde da população, sendo detectadas associações entre níveis diários de poluição e mortes em idosos, internações por doenças respiratórias na infância, internações e mortes por doenças cardiovasculares e mortes fetais tardias (Freitas *et al.*, 2004; Gouveia *et al.*, 2003). Uma consequência paralela às incidências de danos à saúde é o aumento dos encargos financeiros para o governo, pois quando é baixa a saúde de uma população, há perdas na economia, devido às faltas ao trabalho e aos gastos em consultas e remédios na rede pública de saúde.

Vários fatores podem interferir na qualidade do ar, entre eles a interação dos poluentes na atmosfera e suas reações, as condições climáticas e meteorológicas do local (EPAa, 2004), a velocidade de lançamento e sua temperatura (Braga *et al.*, 2005), deposição seca e úmida do poluente (Philippi Jr & Malheiros, 2005), a qualidade do combustível utilizado, ano de fabricação e modelo dos veículos, assim como a manutenção e o modo de dirigir de cada motorista (no caso das emissões veiculares) e a dispersão ao longo da atmosfera até atingir o receptor.

A dispersão é o transporte dos poluentes pela atmosfera sendo este influenciado pelas condições climáticas e meteorológicas da região. Um exemplo de dispersão é a forma com que a pluma tem ao ser lançada na atmosfera por uma chaminé industrial (Philippi Jr & Malheiros, 2005), a qual é desenhada de acordo com as características atmosféricas e da superfície terrestre do local (topografia) (Assunção, 2004).

Há um grande interesse na previsão da dispersão da massa de ar contendo as altas concentrações de poluentes atmosféricos de forma a avaliar os possíveis impactos ao meio ambiente e à saúde das populações supostamente atingidas, decorrentes das emissões normais e em casos de acidentes nas fontes poluidoras (Braga *et al.*, 2005). Este comportamento é estudado por meio de modelagem matemática, onde todas as características da fonte de poluição, do receptor e os dados meteorológicos são introduzidos em um programa computacional, tendo como resultado as concentrações ao longo do tempo nas regiões em estudo. O AERMOD é um modelo de dispersão atmosférica, desenvolvido e recomendado pela Agência de Proteção Ambiental Americana (*Environmental Protection Agency* - EPA,), e

é baseado no conceito gaussiano de dispersão da pluma, o qual será abordado neste trabalho posteriormente.

Apesar de vários estudos sobre a poluição atmosférica (Folinsbee, 1992; Martins et al., 2001; Ribeiro & Assunção, 2002; Brugee & Durant, 2007), no Brasil ainda há regiões sem dados adequados e locais sem pesquisa quantitativa e qualitativa sobre as emissões. A capital do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, é uma cidade que está em pleno desenvolvimento urbano e industrial nos últimos 10 anos. Portanto, é de extrema necessidade que sejam realizados estudos e pesquisas científicas sobre a qualidade do ar, seus fatores e seus efeitos sobre nossa região.

Assim, este trabalho realizou o inventário das emissões veiculares e o estudo do comportamento das emissões das fontes móveis de Campo Grande, assim como suas relações com os fatores climáticos, tais como velocidade e direção do vento, através de do modelo de dispersão atmosférica AERMOD. Este trabalho é pioneiro nesta região e será base para posteriores estudos, principalmente àqueles que abordam os efeitos da poluição atmosférica na saúde da população.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a dispersão dos poluentes MP, CO e NO_x emitidos por veículos automotores na Avenida Costa e Silva em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, utilizando o software AERMOD.

2.2. Objetivos Específicos

- Estimar as taxas de emissão dos poluentes CO, CO_2, MP, HC e NO_x emitidos por veículos leves, pesados e motocicletas no ano de 2010 em Campo Grande- MS;
- Calcular a taxa de emissão para a frota circulante em um dia na Avenida Costa e Silva, em três períodos de maior movimento (07 às 08, das 11 às 12 e das 17 às 18);
- Comparar as emissões estimadas dos poluentes nas categorias de veículos.
- Avaliar os dados meteorológicos resultantes do software AERMOD.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Definições

Para que haja um desenvolvimento social e econômico sempre haverá um impacto, na maioria das vezes, negativo ao meio ambiente e à sociedade. Ao longo dos anos, após grandes episódios agudos de poluição, foram desenvolvidas técnicas de controle, criadas leis regulamentando os limites de concentração de poluentes para que estes impactos fossem minimizados.

Segundo a Lei 6938/1981, que dispõem sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, a definição de poluição é 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; as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Segundo a Resolução CONAMA 03/1990 poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, concentração, quantidade, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, fauna e flora; prejudicial à segurança ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade.

Os poluentes podem ser emitidos diretamente para a atmosfera por uma fonte, os denominados primários ou ser produto de uma reação química envolvendo os poluentes primários, estes denominados de poluentes secundários (Philippi Jr & Malheiros, 2005).

Uma fonte de poluição atmosférica é qualquer atividade ou fenômeno que produza poluentes a serem emitidos para a atmosfera. De acordo com Philippi Jr & Malheiros (2005) e Derísio (2000) as fontes podem ser classificadas quanto a sua forma:

- Fonte pontual: Quando pode ser considerada em um ponto específico, como por exemplo, uma chaminé industrial;
- Fonte tipo área: utilizada para englobar pequenas fontes individuais sem significativas emissões como pequenos comércios (padarias, lavanderias) em determinada região ou áreas de queimada agrícola, estacionamentos;
- Fontes móveis: fontes não estagnadas, como por exemplo, veículos automotores, trens, aviões, navios, máquinas de cortar grama e máquinas agrícolas ou de construção civil.

Sempre ocorreram na natureza emissões de poluentes, como por exemplo, a erupção de um vulcão ou uma tempestade de areia ou ainda um incêndio florestal. Estas fontes são denominadas naturais.

Estas classificações têm importância para estudos de dispersão atmosférica e a forma de controle a ser adotada em caso de emergências (Philippi Jr & Malheiros, 2005).

As emissões podem ser de fontes naturais ou fontes antrópicas. As fontes emissões naturais provêm de erupções vulcânicas, decomposição de animais e vegetais, ressuspensão de partículas como areia e pólen ocasionado pelo vento. Quanto às emissões antropogênicas podemos citar as operações industriais, a queima de lixo e vegetação, a queima de combustíveis para fins de transporte, dentre outras atividades humanas. Os veículos são as principais fontes de emissão, principalmente em centros urbanos, podendo citar as cidades de Rio de Janeiro (RJ) e São Paulo (SP) (Assunção, 2004).

3.2. Legislação e Qualidade do Ar

O nível de poluição do ar ou qualidade do ar é a medida da concentração de determinados poluentes presentes no ar atmosférico, ou seja, é realizada através do monitoramento da qualidade do ar. Os poluentes monitorados são os que aparecem com maior frequência na literatura com efeitos adversos sobre a saúde humana, como coloca Derísio (2000).

Quando se determina a concentração de um determinado poluente, está sendo medido o grau de exposição dos receptores (seres humanos, animais, plantas e materiais) ao resultado final das reações após o lançamento deste poluente na atmosfera, estas interações são exemplificadas na Figura 3.1 (Derísio, 2000).

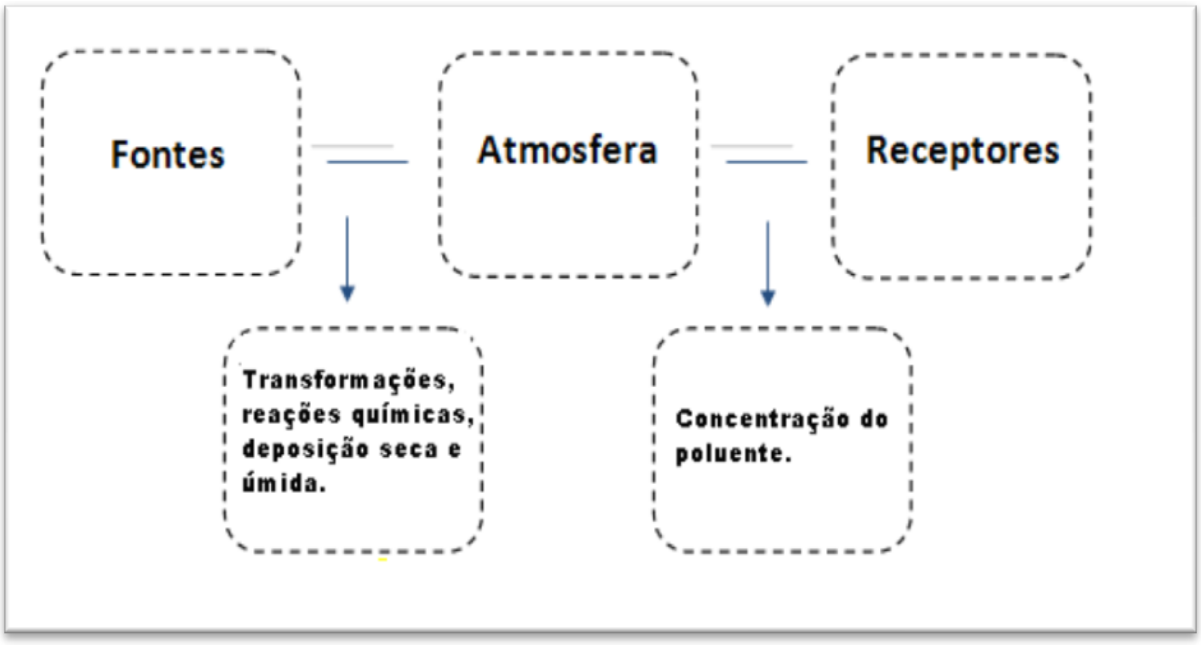


Figura 3.1: Interação dos Poluentes na Atmosfera. Fonte: Adaptado de Derísio (2000).

A Resolução CONAMA 03, de 28 de junho de 1990, define padrão de qualidade do ar como as concentrações de poluentes atmosféricos que, se ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Esta Resolução delimita os padrões para dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO) e dióxido de nitrogênio (NO_2), dentre outros poluentes, como mostra a Tabela 3.1. Nesta tabela pode-se observar o tempo de amostragem dos poluentes e o método utilizado para tal. As concentrações anuais resultantes são analisadas através de estatísticas sendo realizadas médias geométricas e aritméticas. São sempre observadas os maiores valores dentro do tempo de amostragem.

A mesma Resolução ainda define os padrões primários de qualidade do ar como sendo as concentrações de poluentes que, se ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Padrão secundário de qualidade do ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Tabela 3.1: Padrão de Poluentes Regulamentados pela Resolução CONAMA 03 de 1990.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu g/m^3$)	Padrão Secundário ($\mu g/m^3$)	Método de Medição
PTS	24 horas[1]	240	150	Amostrador de Grandes volumes
	Anual[2]	80	60	
Fumaça	24 horas[1]	150	100	Refletância
	Anual[2]	60	40	
Partículas Inaláveis	24 horas[1]	150	150	Separação inercial/filtração
	Anual[2]	50	50	
SO_2	24 horas[1]	365	100	Pararosanilina
	Anual[2]	80	40	
CO	08 horas[1]	10.000	10.000	Infravermelho não dispersivo
	01 horas[1]	40.000	40.000	
O_3	01 horas[1]	160	160	Quimiluminescência
NO_2	01 horas[1]	320	190	Quimiluminescência
	Anual[3]	100	100	

[1]- Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano. [2]- Média Geométrica Anual. [3]- Média Aritmética Anual.
Fonte: Adaptado de CONAMA 03/1990.

O objetivo do estabelecimento dos padrões secundários é a criação de valores base de para uma política de prevenção à degradação da qualidade do ar. Estes não são aplicados a curto prazo à áreas em desenvolvimento.

Conforme Derísio (2000) os objetivos da avaliação da qualidade do ar são:

- Fornecer dados para ativar ações de emergências;
- Proteger a saúde e o bem-estar da população;
- Acompanhar as tendências e as mudanças na qualidade do ar devidas às emissões e à meteorologia.

O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT), foram criados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através de resoluções que estabelecem diretrizes, prazos e padrões de emissão para as diferentes categorias de veículos automotores, nacionais e importados, tendo como principal meta a redução da contaminação atmosférica ocasionadas por estas fontes **(**IBAMA, 2004)**.**

De acordo com a Resolução CONAMA 18/1990, o PROCONVE tem como objetivos:

- Reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos padrões de qualidade do ar, especialmente nos centros urbanos;
- Promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes;
- Criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso;
- Promover a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores;
- Estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados;
- Promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando a redução de emissões poluidoras da atmosfera;

Baseando-se na experiência de outros países, o PROCONVE exige que os veículos e motores novos, ao sair da fábrica, atendam a limites máximos de emissão em ensaios

padronizados e com combustíveis de referência. O PROCONVE também certifica protótipos de veículos, recolhe e exige reparação dos veículos ou motores encontrados em desconformidade com a produção ou projeto e proíbe a comercialização de modelos de veículos não homologados segundo seus critérios (CETESB, 2011).

O PROCONVE e o PROMOT baseiam-se nos dados de homologação para, posteriormente, fiscalizar o estado de manutenção de veículos em uso. A homologação é a comprovação de que os fabricantes ou importadores aplicam conceitos de projeto que asseguram um baixo potencial poluidor aos veículos novos e uma baixa taxa de deterioração das emissões ao longo da sua vida útil, esta comprovação é realizada por meio de análise técnica das especificações de engenharia e resultados de ensaio **(**IBAMA, 2004).

O CONAMA estabeleceu as diretrizes gerais para os Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso (I/M), o qual está contido no Plano de Controle da Poluição Veicular (PCPV), os quais serão implantados pelos órgãos estaduais ou municipais de meio ambiente. O Programa de I/M consiste na realização de inspeção quanto ao estado de manutenção dos veículos objetivando garantir os níveis de emissão de poluentes certificados. O licenciamento anual de veículos no DETRAN de cada Estado está condicionado, pela a aprovação no Programa de I/M **(**IBAMA, 2004)**.**

O controle das emissões é executado a partir da classificação de veículos automotores em veículos leves, veículos pesados e veículos de duas rodas ou semelhante. Para este trabalho será utilizada a seguinte definição:

- Veículo leve: veículo rodoviário automotor de passageiros, de carga ou de uso misto, com capacidade para transportar até doze passageiros ou com massa total máxima igual ou inferior a 2.800 quilogramas. Nesta categoria estão os veículos de passageiro e os utilitários (comercial) (CONAMA, 1990).
- Veículo pesado: veículo rodoviário automotor de passageiros, de carga ou de uso misto, com capacidade para transportar mais que doze passageiros ou com massa total máxima superior a 2.800 quilogramas. Nesta categoria estão o ônibus e caminhões. (CONAMA 1990).

O PROCONVE vem sendo aplicado em várias fases, desde sua criação. A primeira fase implantada para os veículos leves, a fase L1, foi caracterizada pela eliminação dos

modelos mais poluentes e aprimoramento dos projetos dos modelos já em produção e o controle das emissões evaporativas, entre 1988 e 1991. A segunda fase (L2), em 1992, foram necessários o desenvolvimento e a introdução de novas tecnologias como a injeção eletrônica de combustível e os conversores catalíticos. Em 1994 começou a ser realizado o controle de ruído.

Durante a fase L3 o fabricante ou importador empregou, conjuntamente, as melhores tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor, para o atendimento aos limites estabelecidos a partir de janeiro de 1997.

As fases L4 e L5, que iniciaram em 2005 e 2009, respectivamente, visaram principalmente à redução de emissões de material particulado, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos. A fase L6, que está em andamento, foi implantada em 2009 e estabeleceu o controle das emissões dos veículos automotores rodoviários leves novos, com início a partir de 2013, com ênfase nos veículos comerciais leves a diesel. Há uma tendência na diminuição dos valores para a fase L6, pois os veículos fabricados a partir de 2012 deverão ter um maior controle de emissão (CONAMA, 2009).

Os resultados positivos alcançados desde a implantação do PROCONVE, até o ano de 2008 podem ser vistos na Tabela 3.2, mostrando uma redução significativa dos fatores de emissão dos veículos leves de passageiros. Houve também uma grande redução nas taxas de emissão de veículos pesados e motocicletas.

Tabela 3.2: Fatores médios de Emissão de Veículos Leves, Diminuição dos Valores ao Longo dos Anos.

Fase PROCONVE	ANO	COMBUSTÍVEL	CO (g /km)	HC (g /km)	NO_x (g /km)
-	Pré 1980	Gasolina	54,0	4,7	1,2
-	1980 – 1983	Gasolina	33,0	3,0	1,4
		Álcool	18,0	1,6	1,0
L1	1988	Gasolina	18,5	1,7	1,8
		Álcool	13,3	1,7	1,4
L 2	1992	Gasolina	6,20	0,60	0,60
		Álcool	3,60	0,60	0,50
L 3	1997	Gasolina	1,20	0,20	0,30
		Álcool	0,90	0,30	0,30
L 4	2003	Gasolina	0,40	0,11	0,12
		Álcool	0,77	0,16	0,09
		Flex (Gasolina)	0,50	0,05	0,04
		Flex (Álcool)	0,51	0,15	0,14
L 5	2009	Gasolina	0,30	0,03	0,02
		Flex (Gasolina)	0,33	0,03	0,03
		Flex (Álcool)	0,56	0,03	0,03

Fonte: Adaptado de IBAMA, manual volume I e IBAMA 2010.

Após a implantação do PROCONVE as emissões de CO diminuíram consideravelmente. A Figura 3.2 mostra os valores das emissões desde anos anteriores a 1980 a 2009 para os veículos movidos a álcool e gasolina.

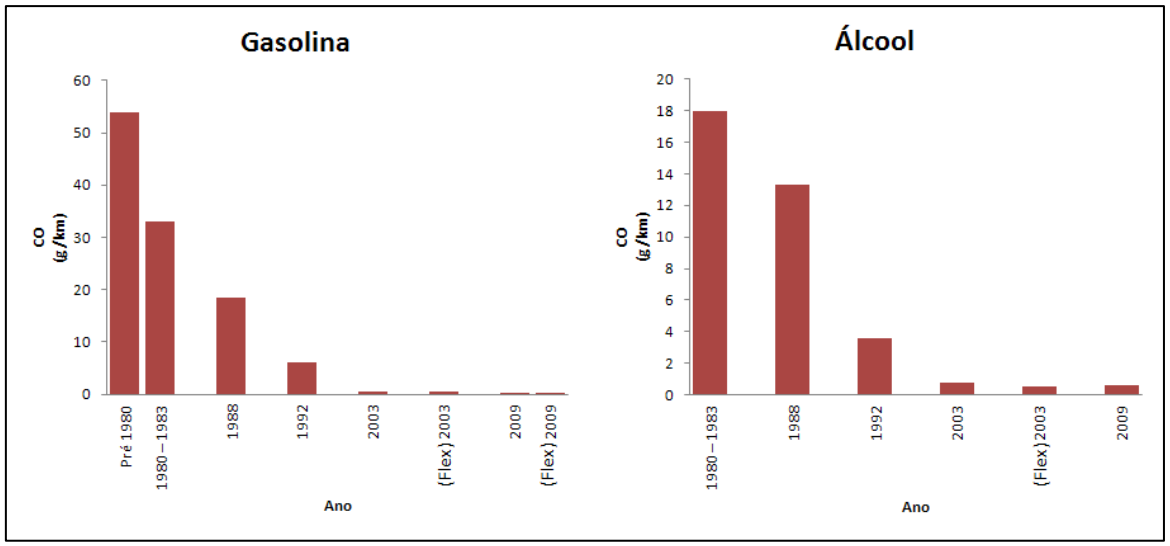


Figura 3.2: Diminuição de Emissão de Monóxido de Carbono para Veículos Leves a Álcool e a Gasolina. Fonte: Adaptado de IBAMA (2004).

Juntamente com as fases para os veículos leves o PROCONVE estabeleceu seis fases específicas aos veículos pesados (ônibus e caminhões).

Nas fases P1 e P2 foram adotados os limites para emissão gasosa e material particulado. Durante a terceira fase (P3), vigente a partir de 1994, o desenvolvimento de novos modelos de motores visaram a redução do consumo de combustível, aumento da potência e redução das emissões gasosas de NO_x, Na fase P4, em 1998, os limites criados pela fase P3, foram reduzidos ainda mais. Em 2004 foi implantada a quinta fase para veículos pesados (P5) e, em 2009, teve início a fase P6. Essas últimas duas fases tiveram como principal objetivo a redução de emissões de material particulado, NO_x e HC.

O CONAMA promulgou: a fase P7 (a partir de 1º de janeiro de 2012), sendo esta mais rígida que as fases anteriores ANFAVEA (2009). Nesta, foi introduzida uma fase que demanda sistemas de controle de emissão pós-combustão, como catalisadores de redução de NO_x e/ou filtros de MP (MMA, 2011). O novo combustível diesel já foi lançado no mercado.

Com os mesmo objetivos de diminuir as emissões de poluentes do PROCONVE, foi criado, em 2002, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares, o PROMOT, este estabeleceu limites de emissão para gases poluentes provenientes de motocicletas novas e exigindo também o controle da qualidade da produção, critérios para a implantação de programas de inspeção e manutenção periódica e fiscalização.

A primeira fase (M1) teve início em 2003 e a segunda (M2), em 2005, estas estabeleceram os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motociclos e veículos similares novos. Até a terceira fase (M3), em 2009, os índices de emissão de monóxido de carbono foram reduzidos em mais de 50% (MMA, 2011). Estará em vigor a fase M4 a parte de janeiro de 2014, a qual contará com mudanças nos procedimentos de ensaio de homologação, dentre outras.

É de suma importância o monitoramento da qualidade do ar para que se mantenha uma boa qualidade de vida e para que seja evitado um episódio crítico de poluição do ar, como já presenciado em cidades como Londres (Inglaterra) e Cubatão (São Paulo). Considera-se episódio crítico de poluição do ar a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos. (CONAMA, 1990).

A Legislação sobre a poluição atmosférica está em constante revisão e alterações, uma lista de Resoluções do CONAMA é apresentado no ANEXO A deste trabalho para um maior entendimento do leitor sobre o assunto.

A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera define o nível de qualidade do ar, o qual determina por sua vez o surgimento de efeitos adversos da poluição sobre os receptores (Derísio, 2000).

3.3. Poluentes Atmosféricos e seus Efeitos

Os efeitos maléficos da poluição atmosférica á saúde humana fizeram com que houvessem estudos e esforços para compreender e controlar as emissões (Boubel *et al.*, 1994). Nos próximos tópicos serão comentados os efeitos da poluição do ar na saúde, nos materiais e na natureza de maneira local e global assim como uma breve elucidação sobre os poluentes estudados neste projeto.

3.3.1. Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro e insípido (Assunção, 2004) e é um poluente associado às emissões de veículos movidos com derivados de petróleo, sendo resultante da combustão incompleta do carbono contido no combustível (MMA, 2011; Assunção, 2004). Segundo Harrison (2001), em áreas urbanas a concentração deste tende a ser alta, sendo o trafego responsável por 98% de suas emissões. O CO é rapidamente absorvido pelos pulmões, cerca de 85% do gás combina-se com a hemoglobina e o restante com proteínas teciduais. Sua afinidade com a hemoglobina é cerca de 250 vezes maior que a

do oxigênio, formando assim a carboxihemoglobina (COHb) (Assunção, 2004; Seinfeld 1986).

A exposição intensa ao CO, como a ocorrida em incêndios e explosões, pode ocasionar inconsciência súbita, movimentos convulsivos e óbito. Já nas exposições menos intensas produz inicialmente astenia, fraqueza de membros inferiores (que pode dificultar a saída do ambiente contaminado) e cefaléia intensa seguida de náuseas, vômitos e inconsciência. Podem ocorrer casos sem o indivíduo perder a consciência, porém com sintomatologia muito variada, incluindo tremores, embolias, infarto do miocárdio, hipotensão arterial, hipersecreção salivar e brônquica, edema agudo do pulmão, lesões hepáticas e renais e distúrbios cutâneos, com aparecimento de eritema, vesículas e bolhas. É um conjunto de manifestações predominantemente neuropsíquicas que aparecem vários dias após a aparente melhora, incluindo (tremores), desorientação e crises epilépticas. Sequelas permanentes são comuns. (Schvartsman, 2007)

3.3.2. Dióxido de Carbono

O dióxido de carbono (CO_2) é um gás incolor e inodoro, como é muito denso costuma se acumular ao nível do solo, é resultante da oxidação completa do carbono presente em combustíveis fósseis e outros materiais que possuam carbono, também é gerado pela respiração dos seres vivos. Devido sua baixa reação e remoção na atmosfera, sua concentração tem aumentado desde a Revolução Industrial (Boubel *et al.*, 1994).

Em seu ciclo natural o CO_2 entra na atmosfera pela oxidação do metano e é removido pela fotossíntese e solução em corpos d'água (Boubel *et al.*, 1994).

O CO_2 absorvido pelos pulmões é rapidamente distribuído, agindo inicialmente como estimulante medular e a seguir como depressor. Exposições à concentrações moderadas pode causar cefaléia, vertigens, distúrbios visuais, agitação, tremores, sudorese, hipertensão arterial, sonolência e até inconsciência. Quando as concentrações são muito elevadas podem

ocorrer perda de consciência imediata, depressão cardiorrespiratória e óbito (Schvartsman, 2007). O CO_2 influencia a longo prazo no agravamento do efeito estufa e aquecimento global.

3.3.3. Óxidos de Nitrogênio

Os óxidos de nitrogênio (NO_x – NO_2, NO, N_2O) são formados pela reação de O_2 e N_2 presentes no ar, em quantidades variadas, e no solo sob condições de alta pressão e temperatura (MMA, 2011). Estão presentes nas emissões gasosas de escapamentos de veículos e na geração de energia (CONAMA, 1986).

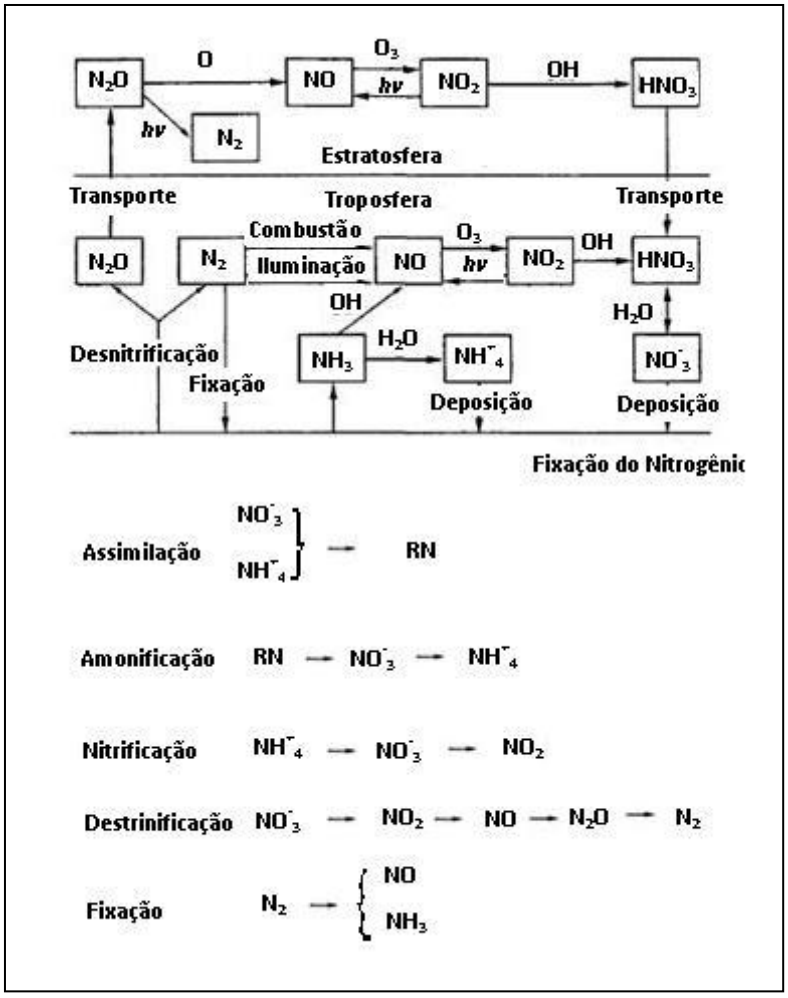
Os óxidos de nitrogênio são produzidos durante a combustão, resultantes do nitrogênio presente no ar ou no combustível. A produção de NO_x é dependente da composição do combustível e da relação ar/combustível (Pinheiro & Valle, 1995).

Não está comprovado cientificamente que o NO seja perigoso à saúde humana nas concentrações encontradas na atmosfera, porém em dias de grande radiação ele é rapidamente oxidado em NO_2 (Álvares Jr. *et al.*, 2002; Carvalho Jr. & Lacava, 2003). O NO_2 é um gás de coloração discretamente amarelada ou acastanhada e de odor semelhante ao de soluções de limpeza à base de hipocloritos.

Seinfeld e Pandis (2006) descrevem o ciclo do NO_x na atmosfera, mostrado na Figura 3.3:

> "O óxido nitroso (N_2O) é um gás incolor emitido quase totalmente por fontes naturais, principalmente por ações bacteriológicas no solo. O óxido nítrico (NO) é emitido tanto por fontes naturais como por fontes antropogênicas. O dióxido de nitrogênio (NO_2) é emitido em pequenas quantidades na combustão juntamente com o NO, e também é formado na atmosfera pela oxidação do NO. A soma do NO e NO_2 é geralmente chamada de NO_x. O NO_x é a forma de óxido de nitrogênio mais emitido em combustão de alta temperatura formado por reações do combustível e o oxigênio. Outras formas de óxido de nitrogênio existem na atmosfera porém em menores concentrações como o NO_3 e o N_2O_5. O ácido nítrico (HNO_3) é produto da oxidação de NO_2 e a amônia (NH_3) é emitida primeiramente por fontes naturais. O

nitrogênio é essencial para o desenvolvimento das plantas e é fixado pelas bactérias no solo. Esta fixação de N_2 ocorre em duas maneiras: a transformação de N_2 em NH^-_4 outra forma é a ionização do N_2 por radiação, este segundo processo forma o óxido de nitrogênio e este sofre deposição no solo em uma forma biologicamente útil.”



*RN: Redutase do Nitrato.

Figura 3.3: Ciclo do NO_x. Fonte: Adaptado de Seinfeld e Pandis (2006).

Quando em contato com mucosas úmidas, forma ácido nitroso e ácido nítrico, os quais são irritantes e têm uma ação destrutiva sobre o epitélio respiratório e membrana alveolar. A inalação de doses excessivas de NO_2 produz geralmente uma seqüência de manifestações iniciada por irritação de mucosas, com cefaléia, conjuntivite, náuseas, ardor de garganta, tosse e dispnéia, seguido de um período de latência de aparente melhora com duração variável,

continuado por graves distúrbios pulmonares com febre, dispnéia, hemoptise, roncos, sibilos e estertores, cianose e insuficiência respiratória aguda. Os sobreviventes podem desenvolver após duas a três semanas um quadro de bronquiolite (Schvartsman, 2007). Segundo Assunção (2004), pessoas asmáticas e pessoas que sofrem de doenças obstrutivas de pulmão são mais sensíveis aos impactos dos NO_x sobre a função pulmonar.

Uma vez lançado para a atmosfera, o NO_x ao entrar em contato com o vapor d'água forma o ácido nítrico que, em conjunto com o H_2SO_4 formado a partir da queima de combustíveis com teor de enxofre, representam o maior constituinte da chuva ácida. Além da chuva ácida, há a formação de O_3 por meio da ação de raios UV sobre o NO_2 (Schvartsman, 2007).

3.3.4. Material Particulado

O material particulado (MP) pode ser considerado o poluente mais complexo, pois, apresenta variedade em sua formação depende do tipo de lançamento, composição e tamanhos. É uma mistura de partículas sólidas ou líquidas de diferentes tamanhos e composição química, que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho (MMA, 2011). Pode-se classificá-las de forma simplificadas da seguinte forma, de acordo com Seinfeld e Pandis (2006):

- Partículas Totais em Suspensão (PTS): podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50 μm. Estas podem causar problemas à saúde, afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade. Nesta classe se encontra a poeira, neblina, fumaça e fuligem.
- Partículas Inaláveis: podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10 μm. As partículas inaláveis podem ainda ser classificadas como partículas inaláveis finas – $MP_{2,5}$ (<2,5 μm) e

partículas inaláveis grossas (2,5 a 10µm). As partículas finas, devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares, já as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório.

O comportamento do MP na atmosfera depende primeiramente de seu tamanho. Para Carvalho Jr. & Lacava (2003), partículas muito pequenas (<0,1 µm) movem-se aleatoriamente como moléculas de gás e não se depositam no solo, permanecendo suspensos na atmosfera durante tempo indefinido, por outro lado, partículas maiores (>20 µm) depositam-se rapidamente no solo, tendo pouca permanência no ar. Pode-se denominar o particulado menor que 0,1 µm como fuligem, tendo origem associado às reações de quebra dos hidrocarbonetos, ou seja, durante as reações complexas em fase gasosa que geram núcleos sólidos. Estas reações ocorrem em situação de combustão rica (falta de oxigênio) e em elevada temperatura (Carvalho Jr. & Lacava, 2003).

Ainda de acordo com Carvalho Jr. & Lacava (2003), além da fuligem, combustíveis líquidos com a presença de hidrocarbonetos podem levar à produção de coque (estrutura porosa sólida de carbono) o qual é formado por decomposição térmica de compostos voláteis. O coque formado ainda pode ser convertido em CO e CO_2.

Segundo PINEAVAR (MMA, 2011) grande parte do MP de origem veicular tem o diâmetro menor que 2,5 µm, podendo ser referido como $MP_{2,5}$.

A exposição a estas partículas leva a várias consequências à saúde. As partículas maiores não atingem a fundo os pulmões, causando assim efeitos menos danosos. As partículas inaláveis finas e grossas causam maiores problemas à saúde, pois, podem entrar profundamente nos pulmões e até mesmo na corrente sanguínea.

Segundo a EPA (2004), estudos mostram uma ligação entre as partículas inaláveis e efeitos adversos na saúde. Longas exposições ao MP são associadas a decréscimo nas funções pulmonares, desenvolvimento de bronquite crônica e morte prematura no grupo de risco. Exposições de curto prazo (horas ou dias) provocam agravamento de sintomas respiratórios, arritmias cardíacas, ataque cardíaco, aumento nas internações hospitalares e morte prematura.

Pessoas com maior sensibilidade e/ou imunidade baixa, são os mais afetados quando expostas à poluição, este grupo é denominado de grupo de risco. Neste estão incluídos os idosos, as crianças, gestantes e pessoas com uma doença pré-existente Os grupos de risco,

As partículas finas afetam a visibilidade atmosférica, causam danos à vegetação e às estruturas e construções.

3.3.5. Hidrocarbonetos

As emissões antropogênicas de hidrocarbonetos (HC) têm origem na combustão incompleta de combustíveis fósseis em motores e na evaporação de combustíveis (Colls, 2002). Segundo Álvares Jr *et al*. (2002), na natureza ocorre a liberação de HC em florestas, equivalendo a 10% do total emitido. Os HC são gases e vapores com odor desagradável, os quais causam irritação nos olhos, pele e vias aéreas superiores. Em exposição imediata à ele pode ocasionar náusea, dores de cabeça, cansaço e em exposições prolongadas são considerados mutagênicos e carcinogênicos.

Os HC e NO_x em presença de radiação solar, reagem formando um conjunto de gases conhecidos como oxidantes fotoquímicos, sendo o ozônio o gás mais produzido (Álvares Jr *et al*., 2002).

3.3.6. Saúde e Bem-estar

Para Assunção (2004), os efeitos da poluição atmosférica são caracterizados tanto pela alteração de condições consideradas normais quanto pelo aumento de problemas já existentes.

Segundo Bates (1999), os estudos sobre os efeitos da poluição do ar sobre a saúde humana começaram após os grandes episódios de poluição ambiental na história. De acordo com a Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA*d*, 2010) após os grandes episódios de poluição ambiental na década de 1950 começou-se a estudar a relação entre a contaminação

do ar e certas doenças crônicas. Hoje há um consenso de que certos poluentes causem ou promovem o desenvolvimento de bronquite, câncer de pulmão e enfisema pulmonar.

Philippi Jr & Malheiros (2005) citam que em seus estudos encontraram uma associação estatística positiva entre a concentração média de determinados poluentes e indicadores de morbidade e mortalidade.

Para que os efeitos da poluição atmosférica sejam estudados é preciso, primeiramente, conhecer a concentração dos poluentes. Para melhor elucidar como os poluentes emitidos afetam a população, é apresentado um resumo na Figura 3.4 com um esquema fonte – receptor (CEPA, 2010):

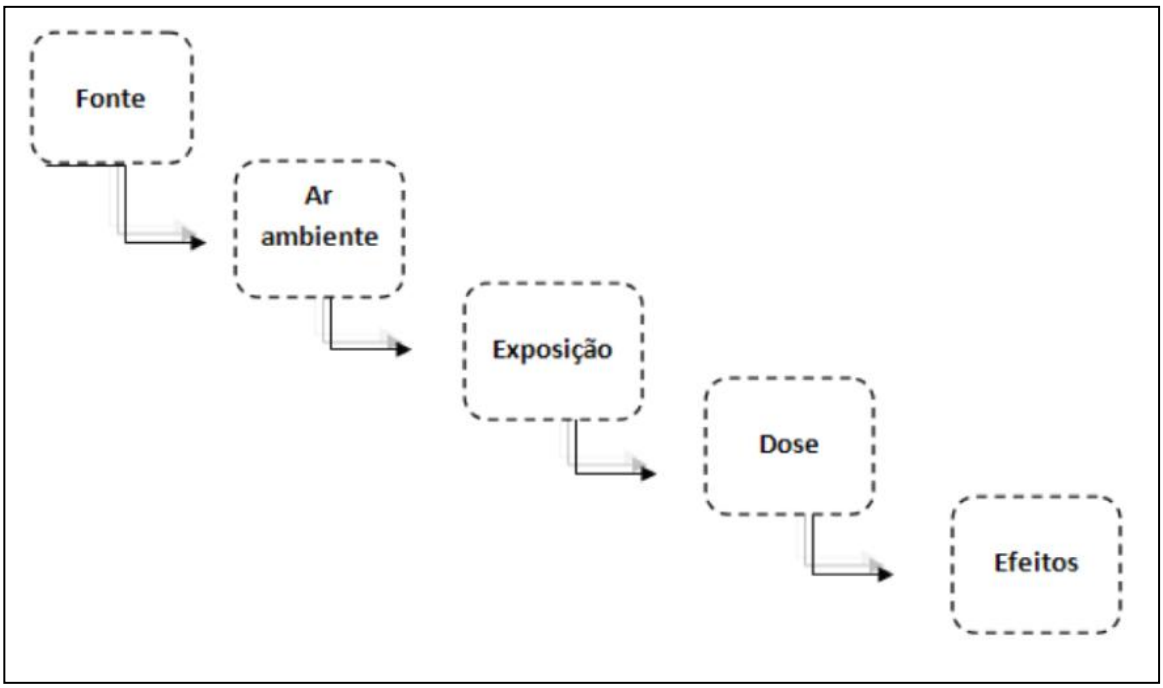


Figura 3.4: Esquema Fonte – Receptor. Fonte: Adaptado de CEPA (2010).

As emissões das fontes se difundem no ar ambiente e se tornam, geralmente, menos concentrados. A concentração destes poluentes depende das condições meteorológicas no dado momento e condições topográficas tanto do receptor quanto da fonte. Para que um poluente tenha um efeito na saúde humana, o indivíduo deve ter exposição a tal poluente por um determinado período de tempo. A exposição humana pode ser por inalação ou contato com a pele, sendo a primeira considerada a mais importante e vulnerável (Assunção, 2004).

O sistema respiratório humano tem a função de levar o oxigênio necessário para os processos metabólicos e remover o gás carbônico gerado por nosso organismo (Boubel *et al*., 1994). O ser humano em repouso respira em torno de 18 vezes por minuto e inspira cerca de 0,5 litros de ar cada vez que respiramos. O sistema respiratório é, simplificadamente, dividido em parte superior e inferior, como pode ser visualizado na Figura 3.5. O primeiro é composto pela região nasal, região oral, faringe, laringe e traquéia e têm a função de aquecer e filtrar o ar que será enviado aos pulmões. Os brônquios, os bronquíolos e os alvéolos compõem a parte inferior (pulmões), de onde o ar é enviado para os órgãos (EPAd, 2010).

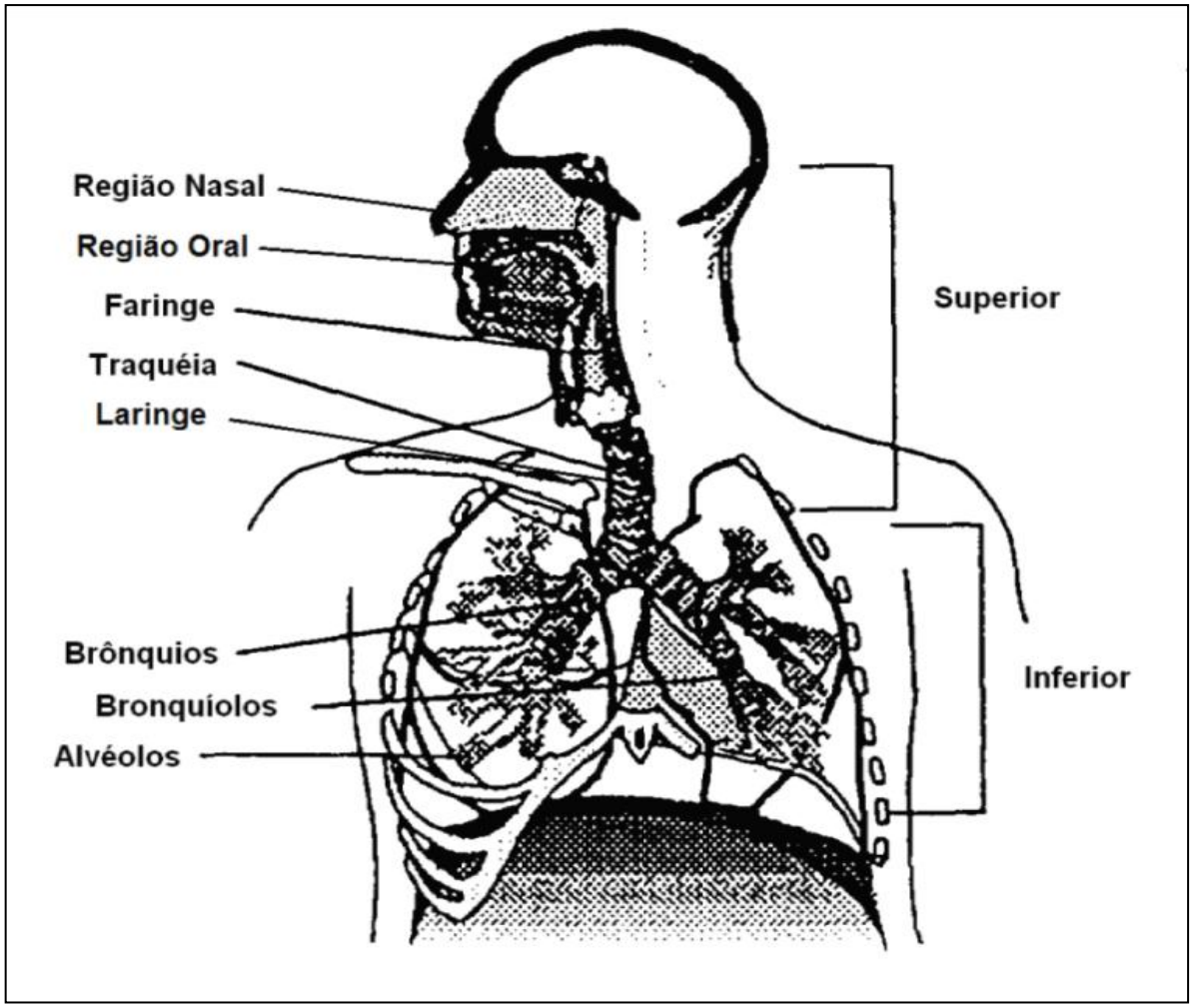


Figura 3.5: Sistema Respiratório Humano. Fonte: Adaptado de EPA*d*, (2010).

Um fator fundamental na determinação dos efeitos adversos dos poluentes atmosféricos não é, exatamente, exposição à substância, mas sim à quantidade desta

substância que atinge as células ou o tecidos, onde a qual pode exercer um efeito (EPA*d*, 2010).

A exposição aos poluentes é caracterizada pelo contato entre o poluentes e o receptor (ser humano). O nível desta exposição é a quantidade de substâncias disponíveis para absorção e o efeito é proporcional, também, ao tempo de exposição.

A dose de poluente recebida é a quantidade de ar absorvida durante o tempo de exposição. A dose depende da quantidade de vezes que o ar é inspirado e expirado, assim como o tamanho da inspiração (CEPA, 2010). Cabe lembrar, ainda, que uma grande quantidade destes poluentes fica retida no trato respiratório superior. Somente os gases e as menores partículas conseguem atingir os pulmões.

Cada pessoa tem uma determinada sensibilidade aos poluentes e uma susceptibilidade à contrair doenças. Crianças, idosos e pessoas com doenças pré-existentes, têm-se mostrado os mais sensíveis aos eventos de grande poluição atmosférica do que a população em geral (Boubel *et al*., 1994).

Segundo Folinsbee (1992), crianças e adolescentes têm se mostrado susceptíveis aos efeitos da poluição do ar, ocorrendo aumentos no número de internações por doenças respiratórias nesta faixa etária. O mesmo tem sido observado entre os idosos, nestes casos, além de promover aumentos na morbidade e na mortalidade por doenças respiratórias, a poluição atmosférica apresenta efeitos cardiovasculares.

Observa-se um aumento em internações hospitalares e mortes, nos dias que seguem um episódio agudo de poluição atmosférica. Alguns poluentes têm efeitos rápidos em indivíduos sensíveis, porém outros só terão efeitos após uma exposição prolongada ou repetida, um exemplo disso é o efeito sobre os pulmões de mineiros e carvoeiros, após anos de trabalho (Harrison, 2001).

Podemos citar, além dos efeitos sobre a saúde humana e animal, efeitos sobre os materiais como abrasão e corrosão, e à vegetação, como por exemplo, o amarelamento das folhas e diminuição do desenvolvimento das plantas.

3.3.7. Efeitos sobre a Vegetação e os Materiais

Alguns poluentes podem causar danos à vegetação, estes são denominados fitotóxicos (Lora, 2002). Os poluentes penetram nas plantas através da respiração provocando a destruição da clorofila ou por deposição nas folhas, diminuindo a quantidade de luz absorvida, causando assim, a diminuição da fotossíntese (Assunção, 2004). Os principais efeitos são a alteração do crescimento, alterações na produtividade e envelhecimento precoce. Philippi Jr & Malheiros (2005) citam que pode ocorrer a penetração do poluente nos estômatos das plantas provocando a interrupção da troca de gases ($O_2 – CO_2$). Podemos citar, segundo Lora (2002) e Boubel *et al*. (1994), o SO_2, o NO_x, O_3 e a amônia como fitotóxicos.

De acordo com Manahan (2007), várias áreas expostas à poluição atmosférica ao redor do mundo tiveram suas plantações e colheitas diminuídas. Florestas, como a Floresta Negra na Alemanha e os morros da Serra do Mar em Cubatão (São Paulo), também foi seriamente atingida por deposição ácida (Braga *et. al.*, 2005). Os ácidos dissolvem e removem a camada de cera das folhas, a qual serve como proteção. Sem a proteção ocorre o escurecimento ou amarelamento da folha e ela cai. Sem suas folhas a planta sucumbe pela falta de energia, obtida pela fotossíntese, ou por ataque de insetos e pragas ou sob os efeitos do clima (Brena, 2009). Deve-se destacar que, quando ocorre a deposição ácida não só as folhas são atingidas mas também o tronco, a raiz e o solo. Quando o solo é atingido por ácidos, ocorre a lixiviação dos nutrientes e diminui a decomposição da matéria orgânica presente no solo (Brena, 2009).

O primeiro efeito sobre os materiais é estético, como a deposição de fuligem e poeira sobre as construções, porém efeitos mais graves podem ocorrer. Pode ocorrer corrosão em materiais metálicos sob o efeito da reação do dióxido de enxofre com a umidade atmosférica e a temperatura (Assunção, 2004).

De acordo com Lora (2002) e Assunção (2004), a sujeira e a deterioração do mármore podem ocorrer pela formação de ácido carbônico, quando o CO_2 entra em contato com a umidade, convertendo o a pedra calcária em bicarbonato, o qual é solúvel em água podendo ser lixiviada pela chuva. Outra maneira é através da reação do calcário com SO_2, formando o

sulfato de cálcio. Muitos monumentos e estátuas sofrem com os efeitos da poluição atmosférica, como exemplo podemos citar o Taj Mahal, na Índia, onde o acesso ao local só é permitido por meio de veículos elétricos com o objetivo de atenuar os danos (Lora, 2002). Os efeitos de corrosão podem ser observados em construções civis.

Outros afeitos da poluição atmosférica sobre os materiais são a perda da elasticidade da borracha pelo O_3, redução da resistência em tecidos, descoloração de tintas e deterioração de couro e papel, causado por SO_2 (Boubel *et al*., 1994, Lora, 2002 e Assunção, 2004).

3.3.8. Diminuição da Camada de Ozônio

A camada de ozônio, localizada na estratosfera (15 a 40 Km acima do solo), funciona como um filtro natural para as radiações ultravioletas do sol, porém quando encontrado na troposfera causa preocupação pelos seus efeitos na saúde e à vegetação (Assunção & Malheiros, 2005). Raios ultravioletas em excesso (faixa UV-B) têm como efeito o aumento de cataratas, doenças de pele, como o aumento de infecções fúngicas e bacterianas (Assunção, 2004). Esta camada ainda controla o fluxo de calor através da atmosfera por absorver a radiação solar refletida (Carvalho Jr. & Lacava, 2003). Ainda de acordo com Carvalho Jr. & Lacava (2003), um efeito específico do O_3 é a quebra das ligações C ≡ C existentes nos compostos orgânicos. Em altas concentrações deste poluente os tecidos humanos, vegetais e animais são completamente destruídos. O ozônio, assim como o NO_x, é responsável direto por edema pulmonar, por ser solúvel em gordura penetra profundamente nos alvéolos, provocando a desnaturação de proteínas e tornando porosas as paredes dos alvéolos e dos capilares, deixando os pulmões lentamente cheios de líquido espumoso, causando morte por asfixia.

Nas últimas décadas a concentração do O_3 tem diminuído na estratosfera, principalmente em regiões da Antártida. O O_3 estratosférico está em um equilíbrio dinâmico com os processos de formação e destruição da molécula de O_3, os quais podem ser representadas nas equações a seguir, de acordo com Boubel *et al*. (1994):

$$O_2 + h_v \rightharpoonup O + O \quad (3.1)$$

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M \quad (3.2)$$

$$O_3 + h_v \rightarrow O_2 + O \quad (3.3)$$

O *hv* representa os raios ultravioletas e *M* representa o catalizador. O ciclo começa com a fotodissociação de O_2 em oxigênio na forma atômica. O átomo reage com a presença de uma de uma terceira molécula (O_2 ou N_2) para formar o O_3 (Boubel *et al*., 1994).

A causa primária da destruição do O_3 é o aumento da concentração de cloro antropogênico, resultante da fotólise dos CFCs (Lora, 2002). Outros agentes dessa destruição são os óxidos de nitrogênio e o gás *halon* (Assunção & Malheiros, 2005). Os CFCs são substâncias químicas muito utilizadas na indústria de aparelhos de refrigeração, estes possuem estabilidade química, mantendo-se por até 100 anos na atmosfera. (Braga et. al, 2005).

Segundo Lora (2002) o fenômeno do buraco na camada de ozônio é acentuado na Antártida pelas seguintes razões:

- Formação de um vórtex circumpolar, isolando o ar desta região;
- Ausência de radiação solar no inverno e o isolamento de ar faz com que a temperatura seja baixa (-78º a -83ºC), criando condições de formação de nuvens polares no interior do vórtex.
- As nuvens polares alteram a química do cloro estratosférico, deixando-os mais reativos.

3.3.9. Chuva Ácida

O termo chuva ácida é normalmente empregado para denominar todas as deposições ácidas. Segundo Brena (2009) a chuva é apenas uma das formas de precipitação, devendo ser considerada a neve, a neblina e o granizo. As deposições e precipitações ácidas podem ocorrer na forma seca e úmida (Lora, 2002).

Medições realizadas entre 1840 e 1970 na Grã Bretanha mostraram que as concentrações de SO_2 na chuva eram maiores em locais com maior população, principalmente em locais onde ocorriam queima de carvão (Lora, 2002 apud Schwartz, 1989).

A chuva é naturalmente ácida, pois apresenta um pH em torno de 5,6 (Seinfeld e Pandis, 2006), isto ocorre porque o vapor de água em contato com o CO_2 na atmosfera forma o ácido carbônico (H_2CO_3), um ácido fraco (Brena, 2009). Valores com pH abaixo de 5,6, normalmente são considerados como chuva ácida por fatores antropogênicos (Lora, 2002; Seinfeld e Pandis, 2006).

Embora a chuva ácida afete os países desenvolvidos e industrializados, países como Brasil, Índia e China são propensos a ter com frequência este problema (Lora, 2002). Nas décadas de 1970 e1980 Cubatão (São Paulo) já apresenta os efeitos da chuva ácida sobre a Mata Atlântica na Serra do Mar encontram-se com pouca vegetação (Braga *et. al.*, 2005). Estudos mostram que os valores de pH encontrados em precipitações na Amazônia estão em torno de 4,0. Estes valores estão próximos aos encontrados no Rio de Janeiro e em São Paulo (Lora, 2002 apud de Melo & Motta, 1987).

Como efeito da chuva ácida Seinfeld & Pandis (2006) citam a acidificação de corpos d'água superficiais, danos à vegetação e em materiais e estruturas.

3.3.10. Efeito Estufa e Mudanças Climáticas

A camada de gás que envolve o planeta tem uma função importante. Estes absorvem a radiação, retendo o calor da luz solar (Assunção, 2004), tornando uma temperatura propicia para a vida, tal qual conhecemos. O aumento de determinados gases na atmosfera que absorvem a radiação infravermelha têm provocado um aumento na temperatura global. As maiores preocupações em relação ao aquecimento global são as mudanças que estão ocorrendo no clima regional e nas estações (Boubel *et al*., 1994).

O *International Panel on Climate Change* – IPCC foi estabelecido em 1988 pela Organização Mundial de Meteorologia (WMC) e pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP). Segundo Boubel *et al*. (1994), este grupo fez previsões que se nenhuma atitude fosse tomada em relação ao uso de combustíveis fósseis, a temperatura média da Terra iria subir cerca de 5,8 ºC a cada década no século XXI (Assunção, 2004).

Segundo Seinfeld & Pandis (2006) o CO_2 é o poluente mais importante produzido pela sociedade industrializada e seu principal efeito na atmosfera é sobre o clima. O CO_2 é responsável por cerca de 55% do efeito estufa (Assunção, 2004). Ocorre um aumento de emissão de CO_2 pela queima de combustível fóssil e material orgânico assim como o desmatamento, o qual diminui a quantidade de área para a conversão de CO_2 para oxigênio pelas plantas (Boubel *et al*., 1994). A concentração de CO_2 nos últimos mil anos era de aproximadamente 280 ppm (determinada por estudos de concentração em perfil de solo no gelo). tendo um aumento gradativo ao longo dos anos. No ano de 2003 chegou a cerca de 375 ppm (Seinfeld & Pandis, 2006). Ainda de acordo com Seinfeld & Pandis (2006), durante o período de 1850 a 2000 foi estimado que houve um lançamento de 282 Pg (onde 1Pg = 1 Gg = 10^{15} g) de CO_2 oriundos de combustíveis fósseis.

A Figura 3.6 mostra a quantidade de CO_2 emitidos pela queima de combustíveis fósseis e desmatamento no mundo desde 1860 com uma previsão de emissão para 2020.

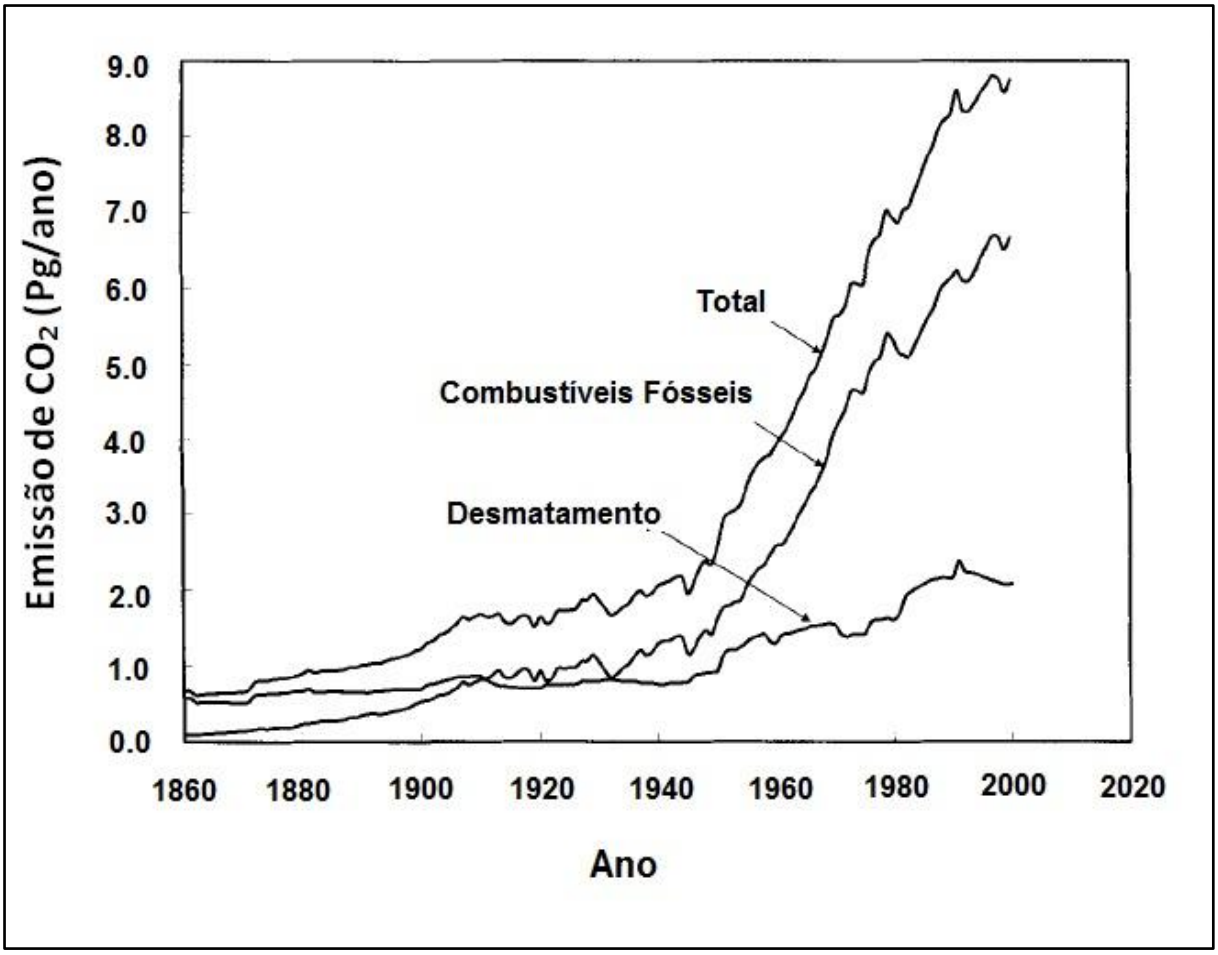


Figura 3.6: Emissões Globais de CO_2. Fonte: Adaptado de Seinfeld & Pandis, (2006).)

Como consequência do aquecimento global pode-se considerar o derretimento das calotas polares, o aumento da temperatura e nível dos oceanos, alterações climáticas, aumento das tormentas e perdas na agricultura.

3.4. Poluição Atmosférica por Veículos Automotores

3.4.1. Fabricação e Crescimento da frota de Veículos Automotores

O Brasil possui 49 plantas industriais em oito Estados brasileiros com capacidade de produzir mais de quatro milhões de veículos e 105 mil máquinas de construção e agrícolas por ano. O país é o sexto maior produtor e o quinto maior consumidor de automóveis no mundo, sendo que a empresa automobilística representa quase um quarto do PIB industrial brasileiro (ANFAVEA, 2010).

Em meio a uma crise mundial em 2009, o governo federal tomou uma série de medidas para que o setor continuasse crescendo. Entre as medidas destacam-se a redução de juros, a expansão ao crédito, a redução do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) e os programas de incentivo à aquisição de ônibus e caminhões. (ANFAVEA, 2010).

A quantidade de veículos fabricados no Brasil cresce a cada ano. Além disso, a partir da década de 90, o governo favoreceu a importação destes produtos, intensificando ainda mais a frota. De outubro de 2010 a setembro de 2011 foram produzidos 3,6 milhões de veículos automotores no país, tendo um aumento de 3,4% em relação a outubro de 2009 a setembro de 2010 (Figura 3.7). Neste mesmo período (outubro 2010 a setembro 2011) foram licenciados 3,7 milhões de automóveis no país (ANFAVEA, 2011). A produção acumulada foi mais de 46 milhões de unidades de 1957 a 2005. A Figura 3.7 mostra o crescimento da indústria no país nos últimos 10 anos, de acordo com os dados estatísticos de fabricação da ANFAVEA (2011).

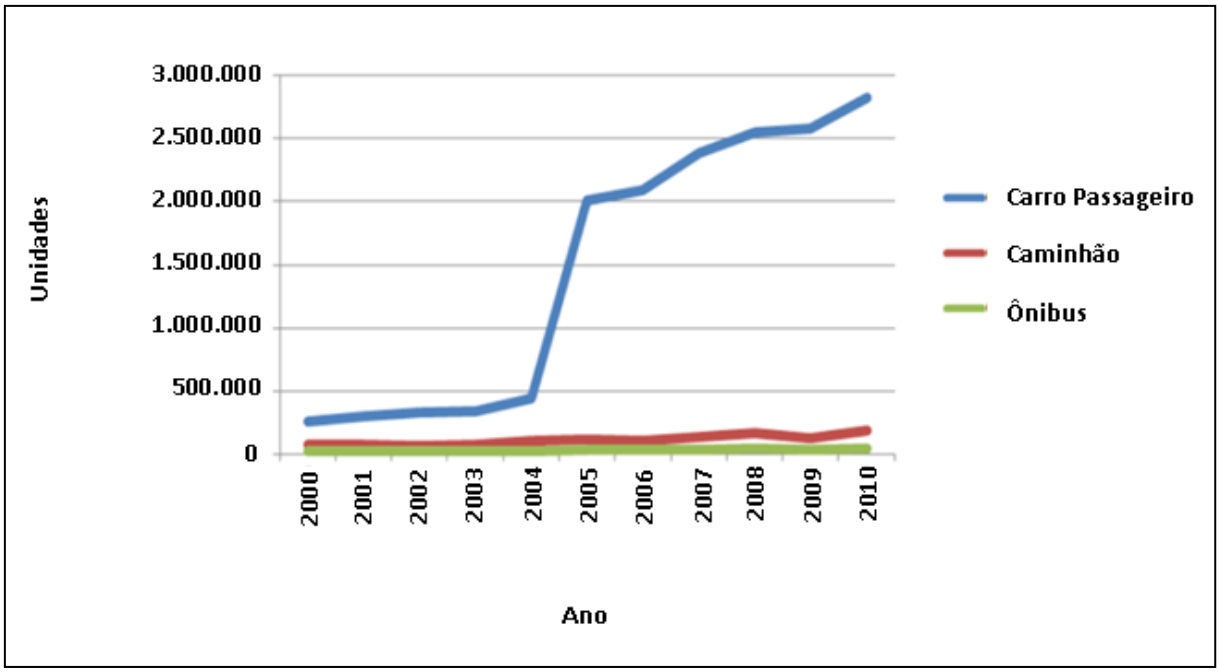


Figura 3.7: Crescimento do Número de Carros, Caminhões e Ônibus Fabricados no Brasil. Fonte: Adaptado de ANFAVEA (2011).

A ANFAVEA anualmente disponibiliza dados estatísticos sobre a quantidade de veículos fabricados e emplacados no Brasil. O Estado do Mato Grosso do Sul, no ano de 2001, possuía 434.566 veículos, entre caminhões, carros motos e outros, no ano de 2011 este valor duplicou, passando para 1.064.852 veículos.

Na cidade de Campo grande o número total de veículos em 2001 era um total de 194.006 veículos, seguido pela cidade de Dourados com 42.308e Três Lagoas com 21.847 veículos. No ano de 2011 estas mesmas cidades tiveram um salto em sua frota. Campo Grande passou para um número de 424.421 veículos, quase o mesmo valor total de veículos no Estado de MS no ano de 2001. Neste mesmo ano, Dourados possuía uma frota total de 105.602 veículos e Três Lagoas 55.754 veículos. A frota predominante em todas as cidades é a de veículos automotores (ANFAVEA, 2012).

3.4.2. Poluição por Veículos

Segundo Colls (2002), desde a década de 1960 o número de veículos no mundo vem crescendo mais rápido do que a população.

Os veículos automotores são a principal causa da poluição atmosférica nas principais regiões urbanas (Álvares Jr *et. al.*, 2002). Além do continuo crescimento da frota, nota-se uma queda no uso do transporte coletivo, em decorrência da falta de investimentos e adequação das governadorias. Como exemplo, a cidade de São Paulo há cerca de dois carros por habitante. Em Campo Grande poderá ter o mesmo cenário nos próximos anos, pois já é notado congestionamento nas principais vias da cidade, haja vista que sua frota cresceu mais de 100% nos últimos dez anos (ANFAVEA, 2012).

Segundo Lemos (2010), uma das consequências do aumento do número de veículos particulares nas cidades é a diminuição da velocidade média dos veículos que passou de 29 Km/h para 27 Km/h entre 2006 e 2007 na cidade de São Paulo. Nesta velocidade, os motoristas tem de utilizar uma marcha menor, o que gera uma emissão maior de poluentes. De acordo com Teixeira, Feltes e Santana (2008), as regiões com grandes congestionamentos ou tráfego lento de veículos correspondem a cerca de 90% das emissões de monóxido de carbono, e de 80 a 90% das emissões de óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e de material particulado. Os veículos pesados (ônibus e caminhões) são responsáveis pela maior fração das emissões de óxidos de nitrogênio, material particulado e enxofre, enquanto os veículos leves (automotores de passeio), movidos a gasolina e/ou álcool, são os principais emissores de monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

As emissões de um veículo podem ocorrer pelo escapamento ou pela evaporação do combustível quando no uso ou repouso do veículo. Estas emissões são influenciadas por vários fatores como a tecnologia do motor, porte (leve, médio ou pesado), tipo de uso do veículo (passeio, trabalho), idade do veículo, tipo de combustível utilizado, condições de manutenção e uso, além dos fatores meteorológicos (MMA, 2011).

Tanto nos motores movidos à gasolina quanto à diesel, com combustão completa ou incompleta do combustível há a geração de uma complexa mistura de gases e partículas poluentes (Colls, 2002). Há quatro poluentes predominantemente emitidos pelos motores dos veículos: o monóxido e dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e material particulado. De acordo com Colls (2002), a preocupação não se deve somente com as emissões, mas sim com as reações que os poluentes sofrem na atmosfera.

Na evaporação do combustível há a liberação do poluente Hidrocarboneto (HC), podendo ocorrer das seguintes formas, como mostra PINEAVAR (MMA, 2011):

- Com a evaporação do combustível com o aumento temperatura ambiente ao longo das 24 horas do dia, quando o veículo está em repouso;
- Evaporação do combustível devido ao aumento de temperatura e pressão no sistema de alimentação do veículo, durante seu funcionamento;
- Emissões evaporativas após o uso do veículo, devido à grande temperatura do motor.

De acordo com Carvalho-Oliveira *et al.* (2005), a frota de ônibus da cidade de São Paulo, movida a diesel, é responsável por 30% das partículas primárias e 25% das partículas secundárias com diâmetro menor que 10 μm.

A adição de 22% de etanol no volume na gasolina foi adotada pelo CONAMA em 1990, por recomendação do setor energético. Entretanto, devido à escassez de etanol anidro no mercado brasileiro, foi introduzida, em caráter emergencial, a mistura gasolina – etanol - metanol (7% - 60% - 33% em volume, respectivamente), para utilização em veículos movidos a etanol. Essa mistura e decorrente de determinação da CETESB, que por meio de ensaios laboratoriais chegou a essa composição. A indústria automobilística efetuou a avaliação do desempenho dos veículos a etanol operando com a mistura, constatando que os parâmetros de emissão e consumo foram mantidos (CETESB, 2011). No Mato Grosso do Sul a porcentagem de adição de etanol foi de 25% no ano de 2010. A disponibilidade no mercado nacional do etanol hidratado e da gasolina C com adição de etanol trouxe benefícios para o meio ambiente e para a saúde pública, ocorrendo a redução das concentrações de chumbo emitidos na atmosfera (CETESB, 2011). O etanol funciona como anti-detonante, substituindo o aditivo a

base de chumbo, que foi totalmente retirado da gasolina nacional a partir de 1991 (CETESB, 2011).

De acordo com a CETESB (2011), no ano de 2006 novas melhorias no óleo diesel automotivo foram introduzidas com o lançamento do Diesel *Podium*, com teor máximo de 200 ppm de enxofre. Os novos limites de emissão a serem cumpridos pelas montadoras exigiam a adequação dos combustíveis automotivos. Por essa razão, discutiu-se com a ANP, Petrobras e montadoras de veículos, no período de 2003 a 2008, as especificações necessárias ao atendimento dos requisitos ambientais, que incluiriam, no mínimo, a redução dos teores de enxofre na gasolina C e no diesel para 50 ppm para o ano de 2009. Contudo, a ausência da regulamentação do diesel com 50 ppm de enxofre (S50) de responsabilidade da ANP - estabelecida muito mais tarde do que o desejável, ao final de 2007 - inviabilizou o desenvolvimento pelas montadoras e Petrobras dos veículos pesados e comerciais leves e do diesel para atender os limites das fases P6 e L5 do PROCONVE (CETESB, 2011).

As diferentes fases do PROCONVE, responsáveis pela introdução de novos combustíveis e tecnologias automotivas, influenciaram, e ainda poderão influenciar na qualidade do ar (IBAMA, 2004). Estes novos padrões trazem grandes benefícios para a população, pois com a quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera a população poderá saber qual a condição do ar que está sendo respirado e quais os riscos do mesmo para sua saúde. Com estes dados o governo pode propor medidas e estratégias para a mitigação da poluição atmosférica, assim como o que fazer em situação de emergências.

Além de efeitos sobre a qualidade do ar, Lemos (2010) cita que o aumento do número de veículos e dos congestionamentos causam efeitos sobre a qualidade e produtividade dos funcionários.

3.4.3. . Motor e Combustível

Para Boubel *et al.* (1994), emissões de veículos a gasolina são as mais difíceis para o controle da emissão de poluentes, pois, estas são influenciadas por fatores como formulação da gasolina, média de ar-combustível e compressão, condições do motor e temperatura.

Quando ocorre muita emissão de fumaça em um motor diesel significa que há mais injeção de combustível no cilindro do que sendo queimado e esta parte é somente parcialmente queimada, resultando em maiores emissões de carbono (Boubel *et al.*, 1994).

O etanol, nome técnico para álcool etílico carburante, é uma fonte de energia mais limpa e renovável (Lemos, 2010). Produto produzido a partir da fermentação da cana-de-açúcar, é considerado um biocombustível e sua plantação absorve CO_2 atmosférico pela fotossíntese.

O álcool tem uso vantajoso sobre a gasolina, principalmente por ser um combustível com valor de mercado mais baixo. Este possui um poder calorífico menor que o da gasolina, sendo maior quantidade necessária para seu igual funcionamento em ambos os combustíveis utilizados (Lemos, 2010), porém têm desempenho do motor que utilize somente um destes combustíveis.

De acordo com Lemos (2010) os motores do ciclo Otto, de combustão interna, caracterizam-se por obter potência transformando a energia química (mistura de ar/combustível) em calor através da combustão por meio de uma centelha (vela de ignição), diferentemente dos motores diesel no qual o combustível entra em combustão através da compressão da mistura ar / combustível nos cilindros.

Para que um motor seja menos poluente e mais econômico, a mistura de ar / combustível deve estar em um estado “estequiométrico”, ou seja, a mistura deve estar em estado ótimo, esta mistura varia com o tipo de combustível utilizado. Segundo Lemos (2010) nos motores do tipo Otto, esta mistura é realizada pelo sistema de injeção eletrônica enquanto nos motores diesel é feita pela bomba injetora. A relação estequiométrica de ar / combustível

é conhecida pela letra grega lambda (λ) a qual está localizada na linha pontilhada da Figura 3.8. Colls (2002) explica a relação ar/combustível:

- Na mistura estequiométrica a produção de NO_x está quase em seu pico, porque a temperatura é maior, enquanto a produção de HC e CO é menor;
- Com uma mistura com mais combustível, não há oxigênio suficiente para o combustível disponível, então a emissão de CO e HC aumenta;
- Em condições mais frias a emissão de NO_x é menor;
- Quando a mistura ar / combustível está pobre (λ =16), há excesso de oxigênio, as emissões de CO e HC continuam baixas. Nestas condições o oxigênio também entra na câmara de combustão, aquecido e expelido, esta reação diminui a temperatura o que, por consequência, diminui a emissão de NO_x.

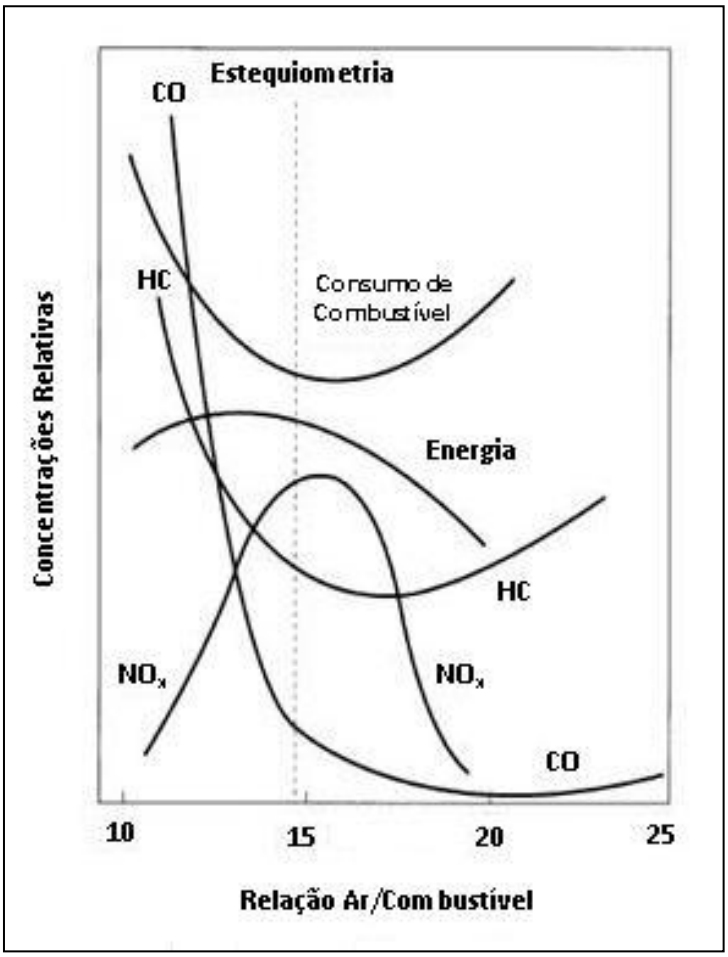


Figura 3.8: Relação Ar/Combustível. Fonte: Adaptado de Colls (2002).

Nos dias de hoje os motores são equipados com dispositivos sonda-lambda, o qual detecta continuamente o teor de oxigênio no gás de escape e informa a unidade de controle eletrônico do veículo sobre as condições de mistura (Lemos, 2010).

3.5. Inventário das Emissões Veiculares e Fatores de Emissão

Para estimar a quantidade de poluentes lançados na atmosfera é realizado um inventário de emissões das fontes móveis. Este inventário estima as emissões através da quantificação dos combustíveis nos motores dos veículos rodoviários: automóveis, motocicletas, caminhões e ônibus. (CETESB, 2011).

O inventário de emissões é um instrumento de gestão ambiental que permite conhecer as contribuições relativas a uma fonte específica, em um dado local e um dado período de tempo. De acordo com o PINEAVAR (MMA, 2011), os inventários têm o objetivo de:

- Identificar e hierarquizar as diferentes fontes que contribuem para a poluição;
- Identificar os principais poluentes emitidos em uma área de estudo;
- Avaliar a eficácia das medidas de controle sob as taxas de emissão;
- Estimar, com o auxílio de modelagem, os efeitos da qualidade do ar;
- Identificar medidas potenciais de redução e;
- Determinar as tendências de emissões futuras.

Para os cálculos das estimativas no inventário são necessários os fatores de emissão para cada veículo, os quais são determinados por diversas condicionantes, entre as quais se destacam (MMA, 2011)

- Porte e tipo de uso do veículo;
- Tecnologia e equipamentos de controle de emissão empregados (características dos sistemas de alimentação de combustível, tipo e quantidade de catalisadores etc.);
- Tipo e características do combustível utilizado;

- Condições de operação e condução (velocidade, frequência e intensidade de acelerações, pressão interna dos pneus etc.);
- Condições de manutenção;
- Condições climáticas e meteorológicas.

Para o cálculo desta estimativa de emissão também são considerados, de acordo com a CETESB (CETESB, 2011):

- A estimativa de veículos em circulação, que considera a quantidade de veículos licenciados anualmente;
- O sucateamento da frota ao longo do tempo;
- A estimativa de rodagem da frota, tecnicamente chamada de "intensidade de uso";
- O consumo global de combustível.

Algumas dessas variáveis são dependentes de outras, como fatores de deterioração das emissões, autonomia ou consumo de combustível, tecnologia empregada (CETESB, 2011):

As emissões podem ser estimadas através da quantidade combustível (representado pelo combustível vendido) ou distância percorrida pelo veículo. De modo Geral, segundo IPCC (1996), a primeira estimativa é a mais apropriada para a estimativa de CO_2 e a segunda para CH_4 e N_2O.

O IPCC (1996) apresenta em sua publicação *"Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*" basicamente dois tipos de cálculo para os inventários de emissões:

- Método simples - *Tier* 01: onde as emissões de todas as fontes de combustão são estimadas com base na quantidade de combustível consumida e a média de dos fatores de emissão. Este método foi desenvolvido para atender aos países que não possuem dados suficientes para os cálculos;
- Métodos Detalhado – *Tier* 2/3: As emissões são estimadas com base em detalhes do combustível e tecnologia das fontes estacionárias e móveis.

O Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (PINEAVAR) do Ministério do Meio Ambiente (MMA) apresenta o método que deve ser utilizado para o inventário de cada Região do país (Equação 3.4). No país e,

principalmente, no Estado de Mato Grosso do Sul, não há dados suficientes das características de uso dos veículos para um estudo aprofundado das emissões, pois ainda não há postos de inspeção veicular para a verificação da quilometragem média rodada pelos veículos. São utilizados, então, os fatores de emissão para veículos novos, para cada ano de fabricação, sem a deterioração do veículo.

$$E = \sum_{modelo}^{ano} (F_r . I_u F_e) \qquad \textbf{(3.4)}$$

Onde:

E = taxa de emissão (g/ano)

F_e = fator de emissão de poluente (g/Km)

F_r = frota circulante de veículos no ano modelo (número de veículos).

I_u = intensidade de uso do veículo (distância percorrida – Km/ano), representado neste estudo, de acordo com PINEAVAR (MMA, 2011), pela idade do veículo.

No Brasil, são escassas as informações referentes à intensidade de uso da frota de veículos, quer seja de automóveis, ônibus, motocicletas ou veículos para o transporte de carga. Foram identificados poucos estudos, em geral de pouca representatividade ou abrangência. Um estudo realizado na para a cidade de São Paulo, mostrou que para automóveis há uma correlação entre a intensidade de uso e a idade do veículo (MMA, 2011).

Teixeira, Feltes e Santana (2008), apresentam uma variação do método do PINEAVAR (Equação 3.4), a equação 3.5, que apresenta uma adaptação para a variável de intensidade de uso do veículo (I_u) apresentada no PINEAVAR, sendo este substituído pela autonomia do veículo (A) e o consumo de combustível (C). Esta adaptação foi necessária devido à falta de dados da quilometragem média percorrida pela frota de Campo Grande.

$$E = F_e . A . C . N . 10^{-6} \qquad \textbf{(3.5)}$$

Onde:

E = Taxa de emissão (t/ano)

F_e = Fator de emissão (g/Km)

A = Autonomia do veículo (Km/L)

C = Consumo de combustível (L/ano)

N = Número de veículos no ano de estudo.

Esta equação (equação 3.5) é aplicada de acordo com o número de veículos fabricados ano a ano, para cada tipo de combustível.

Os fatores que têm maior influência nas emissões dos veículos automotores são: a qualidade do combustível, a concepção tecnológica do motor e suas condições de manutenção do veículo. Para obter a menor emissão possível, é necessário dispor de tecnologias avançadas de combustão e dispositivos de controle de emissão (CETESB, 2011).

Os fatores médios de emissão dos poluentes regulamentado pelo PROCONVE para automóveis e veículos comerciais leves são disponibilizados anualmente pela CETESB em seu Relatório de Qualidade do ar (MMA, 2011). .

3.6. Meteorologia e Dispersão Atmosférica

A atmosfera é um conjunto de gases, vapor d'água e partículas, que envolve a superfície terrestre, a este conjunto chamamos de ar (Varejão-Silva, 2006). A meteorologia é a ciência que estuda os fenômenos atmosféricos, os quais exercem um papel fundamental na dispersão e difusão dos poluentes, podendo estabelecer uma forma de ligação entre a fonte e o receptor e os efeitos sobre este. A dispersão é o movimento ou transporte horizontal ou vertical dos poluentes enquanto que a difusão é a diluição dos poluentes na atmosfera (McGREGOR, 1999).

A energia que controla a atmosfera provém do sol, o aquecimento depende primeiramente da radiação e insolação (Boubel *et al.*, 1994). A radiação é o recebimento dos raios solares (ondas eletromagnéticas), sendo o total de radiação recebida em um local e período específico, dependente de fatores como transparência da atmosfera, duração da luz solar e a constante solar. A radiação pode ser absorvida (por poluentes, moléculas de água em

forma de vapor ou pelas nuvens) ou refletida na atmosfera (pela superfície terrestre ou por nuvens). A parcela de radiação que é refletida para fora da Terra é denominada albedo. O albedo de superfícies mais claras como nuvens, neve e superfícies congeladas é em torno de 0,5 a 0,8; em florestas e campos em torno de 0,03 a 0,3; na água o albedo é entre 0,02 a 0,05, exceto quando a incidência solar está quase paralela com a superfície aquática (Boubel *et al.*, 1994).

A absorção da radiação resulta no efeito estufa, ou seja, em um aquecimento da atmosfera, sem o qual as temperaturas existentes não seriam favoráveis para a vida na Terra (Assunção, 2004). Pode ocorrer o agravamento deste fenômeno pela quantidade de gases de efeito estufa (dióxido de carbono, ozônio e metano) lançados na atmosfera, gerando o que conhecemos por aquecimento global.

A atmosfera está em constante movimento, sendo os movimentos verticais importantes para o clima e o transporte dos poluentes na atmosfera. O vento é o elemento básico para a circulação na atmosfera, promovendo o transporte e dispersão dos poluentes e o balanço térmico da atmosfera. Em escala regional, os ventos são mais bem entendidos considerando o balanço de várias forças na atmosfera (Boubel *et al.*, 1994) como:

- Gradiente de pressão;
- Força de Coriolis;
- Velocidade do vento;
- Efeito da fricção na superfície terrestre;
- Movimentos verticais do vento.

A temperatura e a pressão influenciam nos movimentos de uma parcela de ar. Na atmosfera a pressão diminui com a altitude. Na troposfera a temperatura do ar aumenta com o aumento de pressão, consequentemente diminui com a redução da pressão. Resumidamente, o ar quente sobe e esfria, enquanto o ar frio desce e esquenta. (EPAa, 2004).

Os movimentos verticais do vento afetam a meteorologia e os processos de misturas atmosféricas, importantes para a qualidade do ar (Boubel *et al.*, 1994). A estabilidade atmosférica é determinada pela diferença de temperatura entre uma parcela de ar e o ar que a circunda, esta diferença faz com que o ar suba ou desça. Em condições estáveis não ocorre nenhum movimento vertical do ar, enquanto que em condições instáveis o ar tende a ter um

movimento vertical continuamente. Quando as condições de temperatura e pressão não influenciam na movimentação vertical do ar, estas são consideradas neutras, deixando a atmosfera estável. Quando a atmosfera se encontra extremamente estável, pode ocorrer o fenômeno chamado de inversão térmica, onde uma parcela de ar mais fria fica presa perto da superfície sob uma camada mais quente, (Boubel *et al.*, 1994).

A atmosfera é influenciada pelos sistemas de ventos locais. Para Boubel *et al.* (1994) os seguintes sistemas são destacados:

- Brisa mar-continente;
- Ventos de vale-montanha;
- Circulação urbana – rural;
- Movimentos e fluxos devido à estruturas *(building downwash).*

Nos episódios agudos de poluição ocorridos na história, como os ocorridos em Meuse Valley (Bélgica) em 1930, Donora (EUA) em 1948 e em Londres (Inglaterra) em 1952, todos tiveram grande influencia das condições meteorológicas na data do ocorrido, Boubel *et al.* (1994) cita que quase não havia movimentos nas parcelas de ar logo acima da superfície terrestre e que as inversões causaram a condensação de neblinas, estas persistindo por dias.

A classificação da estabilidade atmosférica é importante para quantificar a capacidade de dispersão dos poluentes. Nas condições instáveis, a poluição tende a dispersar nas camadas superiores com a movimentação do ar enquanto nas condições estáveis da atmosfera os poluentes ficam parados, possivelmente afetando a população do local.

Colls (2002) e McGregor (1999) mostram como Pasquill, um meteorologista inglês, classificou de forma simples as condições atmosféricas de acordo com a radiação solar, cobertura de nuvem e a velocidade do vento. Pasquill divide a estabilidade atmosférica em 6 classes sendo A (extremamente instável); B (moderadamente instável); C (pouco instável); D (Neutra); E (pouco estável) e F (extremamente estável), como mostra a Tabela 3.3 a seguir.

Tabela 3.3: Classes de Estabilidade de Pasquill.

Velocidade do Vento (m/s)	Dia			Noite	
	Radiação Solar Incidente			Cobertura de Nuvem	
	Forte	Moderada	Fraca	>4/8	< 3/8
<2	A	A-	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

A: extremamente instável; B: moderadamente instável; C: pouco estável; D: neutra; E: pouco estável; F: extremamente estável.

Fonte: Adaptado de McGregor (1999).

Durante o dia são observadas a incidência da radiação solar e a velocidade do vento, enquanto durante a noite é observado a cobertura de nuvens e a velocidade do vento.

Para Assunção (2004), as chuvas influenciam na qualidade do ar de maneira acentuada, sendo um agente de autodepuração da atmosfera, principalmente das partículas sólidas presentes, bem como dos gases solúveis e reativos com água.

Além dos fatores meteorológicos, as condições em que o poluente é lançado é de grande valia para o estudo da dispersão além de outros fatores como a temperatura e velocidade de lançamento, tipo de combustível utilizado ou substância queimada ou emitida.

A rosa dos ventos é importante na previsão da dispersão dos poluentes na atmosfera, pois nesta é apresentado a predominância na direção e velocidades dos ventos (EPA*c*, 2005). A rosa dos ventos pode ser utilizada para a visualização da direção predominante na dispersão dos poluentes.

3.7. Modelagem de Dispersão Atmosférica

A modelagem da dispersão atmosférica é uma técnica para calcular as concentrações de poluentes resultantes de emissões atmosféricas. O objetivo principal da modelagem é a previsão de curto prazo. A modelagem é um instrumento de planejamento, podendo ser utilizado na previsão de processos particulares em tempos e escalas definidas (Christofoletti, 1999).

De acordo com Colls (2002), modelos atmosféricos nos ajudam a entender como os poluentes se comportam no meio ambiente. Em princípio um modelo perfeito seria capaz de prever as variações espaciais e temporais nas concentrações do poluente com precisão suficiente pata todos os usos. A dispersão atmosférica de poluentes está em função de um conjunto de parâmetros meteorológicos e topografia que atuam simultaneamente no sentido de aumentar ou reduzir os níveis de poluição em uma determinada região.

O aspecto qualitativo da teoria da dispersão descreve o destino de emissões de uma fonte pontual, área ou fonte linha (Colls, 2002). Quantitativamente a teoria da dispersão estima a concentração de uma determinada substância na atmosfera, com dados específicos de meteorologia local e características da fonte. Os modelos de dispersão incluem:

- Modelo Euleriano: Soluciona numericamente a equação da difusão. Este modelo com a mensuração das propriedades da atmosfera, em um determinado espaço, após o ponto de partida de estudo;
- Modelo Gaussiano: Este é construído com base em uma distribuição probabilística gaussiana do vento;
- Modelo Lagrangeano: este trata dos movimentos de uma massa de ar ou de processos de dispersão de partículas fictícias.

É muito grande a variedade de modelos disponíveis, sendo normalmente diferenciadas pelo tipo de fonte, poluente, transformações e remoção, distância de transporte e o tempo (Barbon & Gomes, 2007).

Alguns modelos têm sido recomendados pelos órgãos ambientais internacionais para uso no licenciamento de instalações de novas industriais e análise de risco, devido sua grande semelhança com a situação real (EPA*e*, 2010). No mercado há uma grande variedade de modelos disponíveis, desde alguns, com código fonte disponibilizado gratuitamente, a modelos pagos com interfaces de fácil utilização. Como exemplos podemos citar:

- ISC3: é um modelo recomendado pela EPA em seu guia de modelagem da qualidade do ar (*EPA's Guideline on Air Quality Modeling*) para fontes industriais em terreno plano. Este é baseado no modelo Gaussiano, e contém módulo completo de algoritmos para "*building downwash*", deposição de partículas e lançamentos de área e emissões em linha.
- CALPUFF: é um modelo de dispersão de pluma não estacionária que simula os efeitos na variação das condições, no tempo e no espaço, do transporte, transformação e remoção de poluentes na atmosfera. O CALPUFF pode ser utilizado para longo alcance e terrenos complexos. Seu sistema foi desenvolvido pelos cientistas do grupo ASG (*Atmospheric Studies Group*);
- CALINE3: é um modelo de estado estacionário de dispersão Gaussiana desenvolvido para determinar concentrações nos receptores localizados perto de rodovias em terrenos relativamente simples, este é um modelo de micro escala.
- CTDMPLUS: o *Complex Terrain Dispersion Model* (CTDM) acrescido de algoritmos para situações de turbulência na atmosfera (*plus algorithms for unstable situations*). Pode ser usado para várias condições de estabilidade atmosférica em terrenos complexos;
- ADMS: o *Advanced Dispersion Modeling* System é um avançado modelo de dispersão estacionário do tipo Gaussiana, desenvolvido no Reino Unido por um consórcio entre indústrias e governo, guiado pelos consultores de Cambridge (CERC). É capaz de simular plumas contínuas e de pequenas durações. O modelo pode ser aplicado para fonte em linha, pontual, de área e volume e possui um módulo para emissões veiculares em estradas em vales ou serras.

A escolha do modelo a ser utilizado está associada à complexidade dos processos envolvidos na situação de estudo e deve-se optar por um determinado modelo considerando suas finalidades para o qual foi desenvolvido, para se chegar o mais próximo da realidade.

3.8. O Modelo de Dispersão AERMOD

Na década de 1990, o A*MS / EPA Regulatory Model* – AERMOD começou a ser desenvolvido pelo AERMIC, comitê formado pela Sociedade Americana de Meteorologia (AMS) e a Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), com o objetivo de incorporar ao modelo ISC3 (*Industrial Source Complex Model*) os novos conceitos sobre a Camada Limite Planetária (CLP), muito estudados nos anos 80 (EPAb, 2004).

Este modelo começou a ser testado em 1994 com os mais diversos cenários, com dados de superfícies planas e complexas e comparados com dados reais de superfície. Seus resultados foram comparados com outros quatro modelos regulatórios o ISC3 (*Industrial Source Complex*), CTDMPLUS (*Complex Terrain Dispersion Model Plus Algorithms for Unstable Situations*), RTDM (*Rough Terrain Diffusion Model*) e o HPDM (*Hybrid Plume Dispersion Model*). (EPAb, 2004).

O AERMOD já foi estudado e avaliado por vários pesquisadores (Hanna et al. , 2001; Paine et al., 1998 e Barbon & Gomes 2010) e levou aproximadamente 14 anos para ser oficialmente aceito pela EPA. Em geral, o modelo teve um bom desempenho, tendo seus resultados próximos aos medidos em superfície. Em alguns casos conclui-se que a modelagem pode levar erros na estimativa de concentração, principalmente em áreas urbanas, local onde há um aumento na dificuldade de dispersão dos poluentes, e em locais próximos às fontes, devido aos grandes valores de concentração. Apesar de todos os resultados e opiniões, avaliações em outras áreas urbanas seriam importantes.

O AERMOD é um modelo de dispersão estacionário, nesta situação considera-se que as características da dispersão é constante em todos o período de estudo. Baseia-se na equação de pluma Gaussiana, assumindo que as concentrações em todas as distâncias durante a hora modelada são governadas pelas condições meteorológicas médias na dada hora (EPAb, 2004). A equação geral de concentração (Equação 3.6), tanto para terreno plano como complexo é:

$$C_t\{X_y, Y_y, Z_y\} = f.C_{C,S}\{X_y, Y_y, Z_y\} + (1-f)C_{C,S}\{X_y, Y_y, Z_p\} \qquad (3.6)$$

Onde:

$C_t\{X_y, Y_y, Z_y\}$ é concentração total;

f é a pluma no estado soma;

$\{X_y, Y_y, Z_y\}$ são as coordenadas do receptor;

$C_{C,S}\{X_y, Y_y, Z_y\}$ é a contribuição da pluma no estado horizontal (C e S referem-se à condição convectiva e estável, respectivamente);

$C_{C,S}\{X_y, Y_y, Z_p\}$ é a contribuição da superfície;

A Figura 3.9 mostra como é a caracterização da pluma dada pelo AERMOD onde a concentração total é prevista pela soma das duas possibilidades de pluma

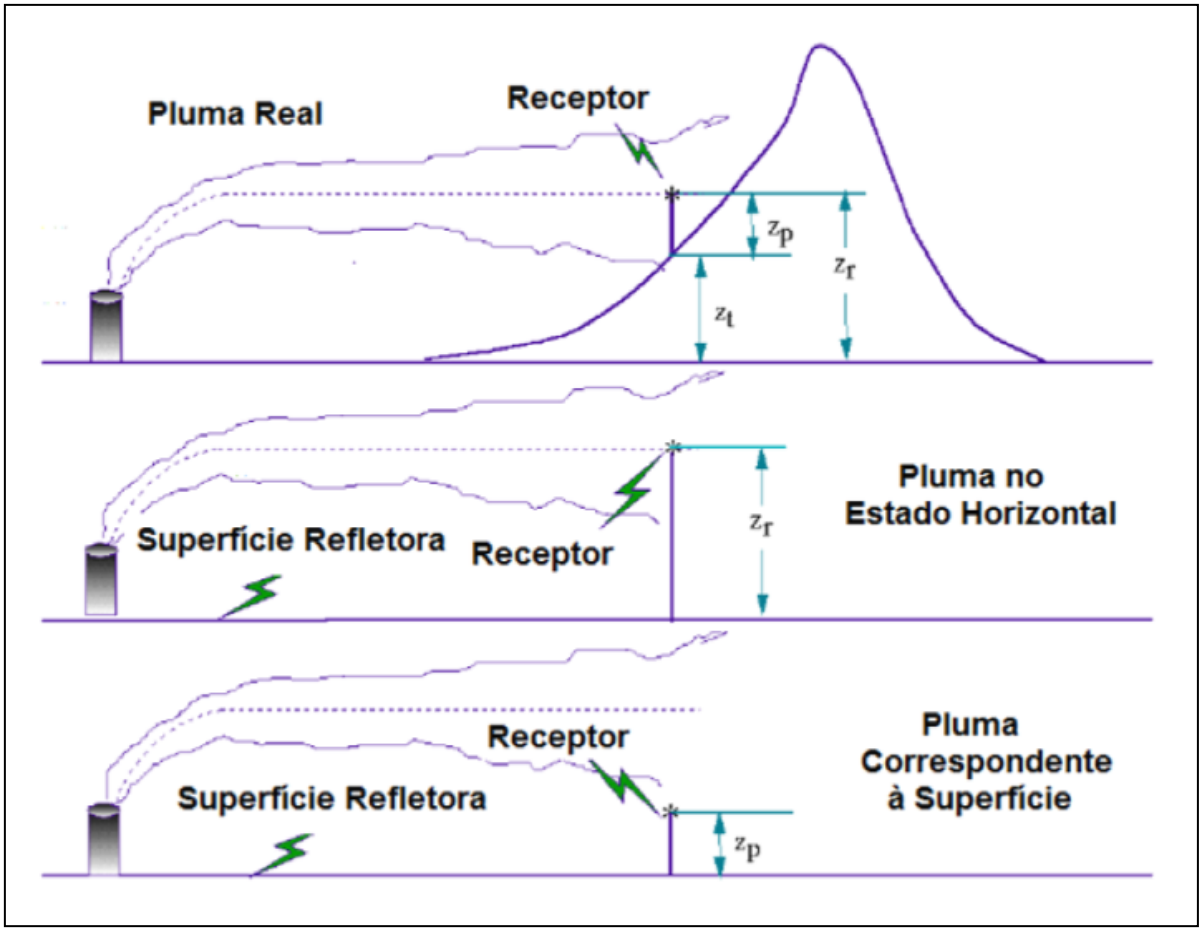


Figura 3.9: Caracterização da Pluma Dada pelo AERMOD. Fonte: Adaptado de EPA*b* (2004).

Na figura 3.9 observa-se as seguintes variáveis:

Z_r é a elevação da base da chaminé;

$Z_p = Z_r - Z_t$ é a altura do receptor em relação à superfície local;

Z_t é a altura do terreno no receptor;

Em terrenos planos onde $Z_t = 0$, ,$Z_p = Z_r$ a concentração (Equação 3.6).

É importante ressaltar que para qualquer calculo de concentração todas as alturas (Z) são referentes à elevação da base da chaminé.

No modelo Gaussiano considera-se que a emissão (massa / tempo) seja contínua e a média dessas emissões não variam com o tempo. No trajeto do poluente da fonte até seu receptor, a massa emitida para a atmosfera continua sendo a mesma e as condições meteorológicas no tempo do trajeto são as mesmas (chamado estado fixo).

Este modelo é baseado na estrutura turbulenta da CLP, incluindo o cálculo da concentração de fontes de superfície ou elevadas e múltiplas fontes (fonte volumétrica, pontual ou de área).

O modelo suporta superfícies planas e complexas, terrenos rurais e urbanos e inclui algoritmos para o efeito causado por estruturas ou edificações na dispersão dos poluentes, conhecido como "*building effect*" ou "*downwash effect*". Quando uma pluma flutua próximo a construções, como observado na Figura 3.10, movimentos circulares turbulentos são formados na direção do vento, forçando a pluma a descer antes do que normalmente aconteceria se não houvesse nenhuma construção por perto, consequentemente, ocorrem altos níveis concentrações de poluentes perto do solo, próximo à fontes de emissão.

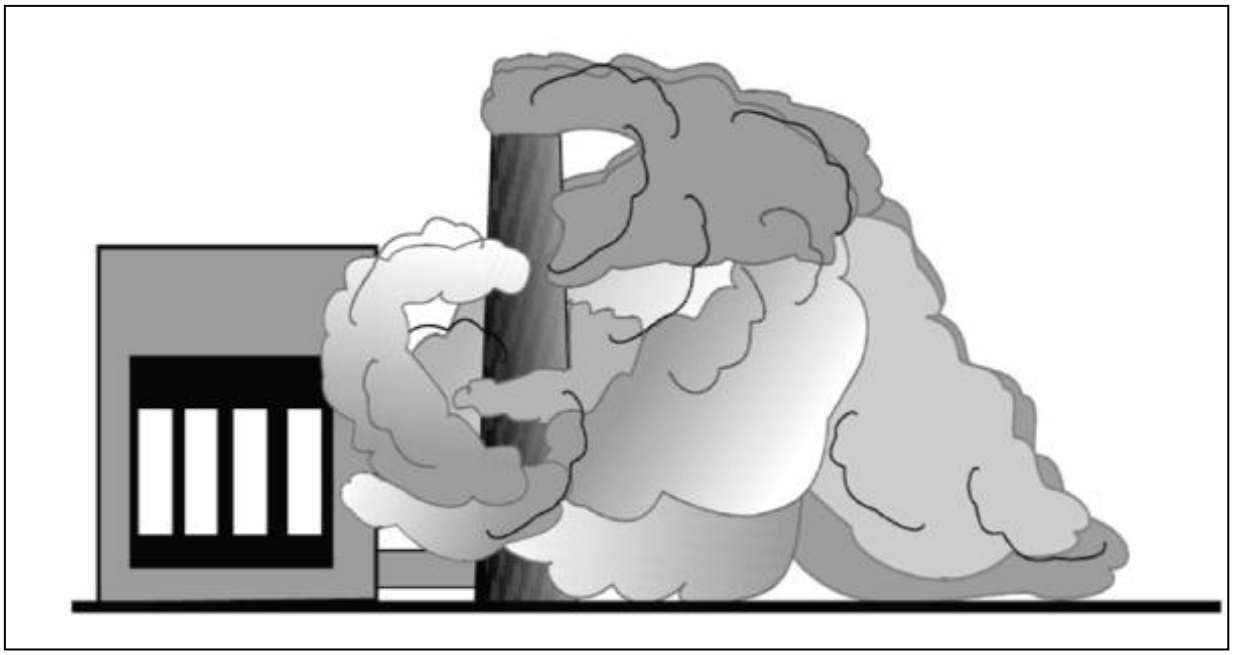


Figura 3.10: Exemplo do Efeito "*Downwash*". Fonte: EPA*c* (2005).

Nos cálculos de concentrações são considerados os processos de deposição seca e úmida, de forma a representar os processos que podem diminuir a concentração de poluentes na atmosfera, bem como a chuva ácida e deposição gravitacional.

Os efeitos de deposição dos poluentes, o efeito "*downwash*", além das condições meteorológicas e as diversas reações ocorridas na atmosfera, são de suma importância para a dispersão dos poluentes, podendo aumentar ou diminuir seus níveis de concentração.

O modelo é formado por dois pré-processadores e uma interface que, com os dados destes, calcula a concentração de determinados poluentes em um período de tempo, como mostra a Figura 3.11 (EPAb, 2004).

O AERMET – AERMOD *Meteorological Preprocessor* é um programa que realiza o processamento de dados meteorológicos que tem o objetivo de calcular parâmetros da camada limite usados pelo AERMOD. Com a entrada de características de superfície como albedo e rugosidade e observações meteorológicas, após o processamento estes dados são fornecido para a interface meteorológica do AERMOD, o qual possui um conjunto de rotinas que utiliza as relações de similaridade com os parâmetros da camada limite.

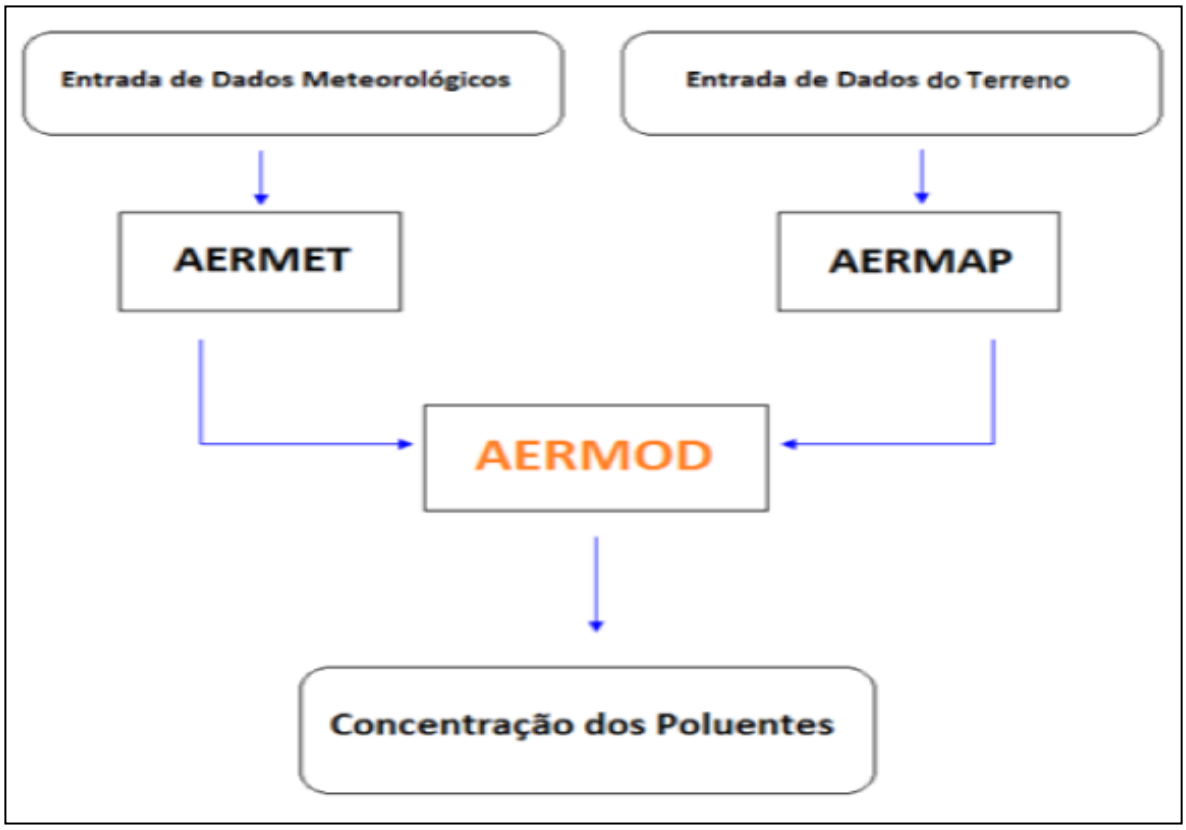


Figura 3.11: Estrutura Geral do Sistema de Modelagem do AERMOD. Fonte: Adaptado de EPAb (2004).

São necessários os dados de característica da superfície como albedo, razão de Bowen e rugosidade, estes são calculados diretamente pelo AERMET através das características da superfície inseridas no programa.

Os dados horários meteorológicos inseridos no AERMET são:

- Velocidade do vento;
- Direção do vento;
- Temperatura instantânea;
- Umidade relativa instantânea;
- Pressão instantânea;
- Radiação;
- Cobertura de nuvem.

As informações geradas pelo pré-processador e informadas ao AERMOD são: ano, mês, dia, dia Juliano, hora, fluxo de calor sensível (W/m^2), velocidade de fricção na superfície (m/s), escala de velocidade convectiva (m/s), gradiente vertical de temperatura potencial acima da CLP, altura da CLC (m), altura da camada limite mecânica (m), comprimento de Monin-Obukhov (m), rugosidade da superfície (m), razão de Bowen, albedo, velocidade do vento (m/s), direção do vento (graus), altura referente à medida do campo de vento (m), temperatura (K), altura referente à medida do campo de temperatura (m), código de precipitação, taxa de precipitação (mm/h), umidade relativa (%), pressão na superfície (mb), cobertura de nuvens (em décimos), desvio padrão da flutuação da direção do vento, desvio padrão da flutuação da velocidade vertical (EPA*b*, 2004).

A configuração do terreno, bem como sua variação, influencia diretamente o campo de vento que por sua vez rege o transporte de contaminantes na atmosfera. Sua forma e variação podem acarretar numa acentuação ou redução dos níveis de concentração. A relação intensidade e direção do vento com formato do terreno podem formar inúmeros cenários de transporte de poluentes. Por isso a importância do uso do segundo pré-processador o AERMAP, que tem o objetivo de proporcionar uma relação entre as características do terreno e o comportamento das plumas. Este gera dados de localização e de altura para cada localização de um receptor.

O AERMAP - *AERMOD Terrain Preprocessor* é o pré-processador de superfície o qual utiliza dados de superfície, a partir de um Modelo de Elevação Digital (*Digital Elevation Model - DEM*), para calcular a altura de influencia da superfície ou escala de influencia. Os dados DEM podem ser obtidos em diversas escalas e resoluções de espaçamento horizontal diferentes. Um arquivo de DEM consiste de um vetor regular de elevações referenciadas horizontalmente em latitude / longitude no sistema de coordenadas do *World Geodetic System* (WGS). Tal vetor consiste de perfis de elevação de terreno, onde um perfil representa uma serie de pontos de elevação ou nós, arranjados a partir do sul para o norte para cada longitude.

Este pré-processador utiliza o sistema de coordenada UTM (*Universal Transverse Mercator).* Este sistema é um método de projetar os meridianos e paralelos da superfície da terra num planisfério. Este sistema de coordenadas é dividido em diversas zonas de seis graus de longitude (largura) cada, desta forma somando 60 zonas numeradas de 1 a 60 a partir do meridiano *International Dateline* de 180 graus. Este módulo de terreno requer a definição do

domínio de modelagem, que é definido como a área que contém todos os receptores e fontes sendo modelados com uma área excedente que possa acomodar qualquer elevação de terreno significativa.

4. Metodologia

4.1. Região de Estudo

Neste trabalho foram estimadas as emissões de poluentes produzidos por veículos movidos a gasolina, etanol, veículos *flex*, veículos movidos a diesel e motocicletas para o Município de Campo Grande-MS por meio de um inventário das fontes móveis, foi realizada a simulação da dispersão dos mesmos através do modelo de dispersão AERMOD.

O Município de Campo Grande (Figura 4.1) está situado na região Centro-oeste do Brasil, no Estado do Mato Grosso do Sul.

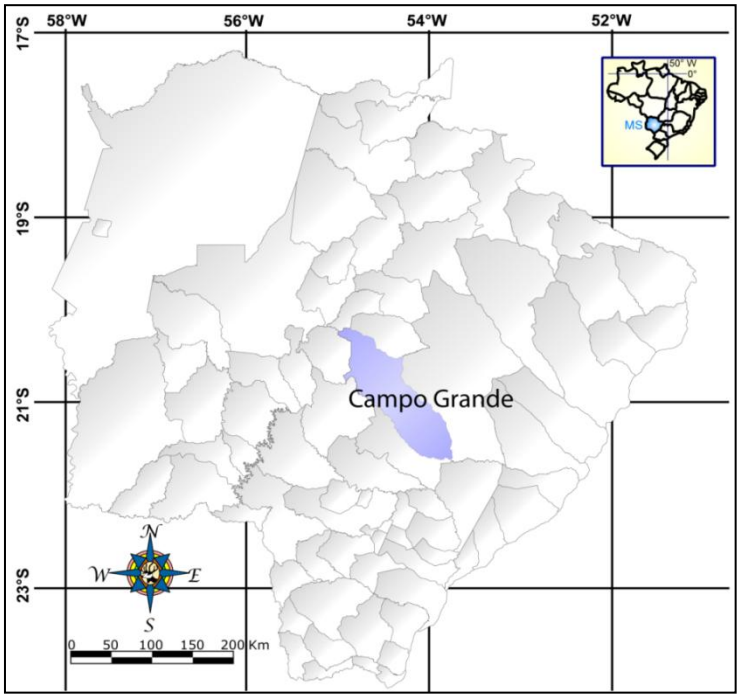


Figura 4.1: Mapa de Mato Grosso do Sul, em Destaque a Capital, Campo Grande. Fonte: Cedido pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFMS, 2011.

Para realizar o estudo de dispersão foi escolhido um trecho na Avenida Costa e Silva ao lado da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, com características semelhantes a maioria das ruas em Campo Grande. Esta avenida dá acesso à universidade federal e possui duas vias, ligando o centro da cidade com os bairros Pioneiros, Doutor Albuquerque, Vila Carlota, Universitário, dentre outros e também, conecta o centro de Campo Grande à saída em direção à São Paulo, o que causa uma grande incidência de caminhões de transporte. A Figura 4.2 mostra uma visão parcial da avenida, mostrando em seu lado esquerdo os limites da UFMS.

Figura 4.2: Vista da Avenida Costa e Silva, Campo Grande – MS.

4.2. Inventários dos Poluentes

Neste estudo foram inventariados os seguintes poluentes:

- Monóxido de carbono;
- Dióxido de carbono;
- Hidrocarbonetos;
- Material particulado;
- Óxido de nitrogênio;

Não foram consideradas, neste estudo, as emissões evaporativas de combustível dos veículos, somente os emitidos através da combustão.

Os dados da quantidade de veículos automotores que circularam no Município de Campo Grande no ano de 2010 foram cedidos pelo DETRAN de Campo Grande. Os dados estão divididos por veículos fabricados em ano "n" que circularam no ano de 2010. A Tabela 4.1 mostra a quantidade total por tipo de veículo/combustível. A frota total em cada ano está no Anexo B deste trabalho.

Tabela 4.1: Número de Veículos Circulantes, de acordo com o combustível, em Campo Grande no ano de 2010.

Combustível/Classe	Total
Álcool	21.402
Gasolina	129.477
Flex	64.951
Flex (Gasolina)	30.527
Flex (Álcool)	34.424
Diesel	23.494
Motocicletas	75.700
Ônibus Rodoviário	1.249
Caminhão Pesado	11.133
Caminhão Leve / Médio	15.501

Fonte: DETRAN (2011).

Nos dados obtidos há uma frota denominada “Diesel”, na qual não havia distinção do tipo de veículo, porém há dados para frota de veículos que circularam utilizando o combustível diesel classificada em ônibus, caminhões pesados e caminhões leves/médios. Foi realizada uma comparação do número total de veículos “diesel” com o somatórios das outras frotas circulantes movidas a diesel, verificando-se uma diferença entre os valores, por este motivo optou-se por realizar o cálculo das emissões dessas frotas separadamente.

Houve um grande crescimento da frota de veículos com a tecnologia *flex fuel*, com a entrada no mercado brasileiro no ano de 2003 (MMA, 2011). Estes veículos usam tanto a gasolina quanto o álcool como combustível, devendo-se ser calculada separadamente suas taxas de emissões, de acordo com o combustível optado. A escolha do combustível utilizado está relacionada com os preços oferecidos no mercado. Adotou-se neste estudo que uma porcentagem de 53% dos veículos *flex* utilizam álcool e o restante (43%) utiliza como

combustível a gasolina. Estes valores foram adotados levando em consideração os cálculos estatísticos realizados no PINEAVAR (MMA, 2011).

Para o cálculo das estimativas das emissões de poluentes provenientes do transporte urbano foi utilizada a Equação 3.4, previamente apresentada na revisão bibliográfica. Esta metodologia é simplificada, pois no país e principalmente, no Estado de Mato Grosso do Sul, não há dados suficientes das características de uso dos veículos para um estudo aprofundado das emissões, sendo utilizados somente os fatores de emissão para veículos novos, para cada ano de fabricação que circularam no ano em estudo.

Para este estudo, devido à escassez de informações sobre a intensidade de uso de veículo de qualquer categoria no país, foram utilizados os valores de intensidade de uso apresentada no PINEAVAR (MMA, 2011). Este autor realizou um cálculo de referência, utilizando o consumo de combustível das categorias e correlacionando a intensidade de uso com a idade do veículo. Estes valores são mostrados no Anexo A deste trabalho.

Para o cálculo das emissões da frota de ônibus, veículos diesel e caminhões leves/médios foram calculadas as médias dos valores encontrados em PINEAVAR (MMA, 2011), como mostrado no ANEXO C.

Os fatores médios de emissão dos poluentes CO, NO_x e HC, regulamentados pelo PROCONVE para veículos leves novos são mostrados no ANEXO D. A seguir, foram obtidos no Relatório de Qualidade do Ar da CETESB do ano de 2010. Segundo PINEAVAR (MMA, 2011), trata-se de valores médios por ano de fabricação, ponderados pelo número de venda de cada modelo de veículo. Os fatores de emissão de dióxido de carbono também foram obtidos neste relatório.

As emissões de MP não são regulamentadas pelo PROCONVE, não sendo medidas nos ensaios de homologação. Os fatores de material particulado foram obtido no PINEAVAR (MMA, 2011) o qual utiliza os fatores propostos no guia europeu de inventário de emissões (*Emission Inventory Guidebook*, EMEP/EEA, 2009) para os veículos movidos à gasolina.

Neste estudo, para os veículos leves fabricados anteriormente ao ano de 1980 foi aplicado o fator referente aos anos de 1980-1983, por não haver dados de fatores para veículos fabricados anteriormente a esta data no Brasil.

Os fatores de emissão para os veículos pesados apresentados no relatório da CETESB (2010), foram gerados nos ensaios de homologação. Essas emissões foram medidas em termos de massa de poluentes geradas por unidade de trabalho realizado pelo motor (g/KWh). O PINEAVAR transformou esta unidade em $g_{poluente}/Kg_{\ diesel}$, de acordo com o consumo específico dos motores. Para transformar a unidade $g_{poluente}/Kg_{\ diesel}$ em g/Km foi realizado um cálculo baseado na quilometragem por litro de combustível.

Os fatores médios de emissão de veículos pesados novos utilizados neste trabalho, em g/Km, mostrados na Tabela 4.2, foram obtidos no PINEAVAR (MMA, 2011).

Tabela 4.2: Fatores Médios de Emissão de Veículos Pesados Novos

Categoria	Fase do PROCONVE	Ano	CO (g/Km)	NO_x (g/Km)	HC (g/Km)	MP (g/Km)
Comerciais Leves	Pré P1 e P2	Pré -1995	0,77	0,28	4,45	0,274
	P3	1995-1998	0,69	0,23	2,81	0,135
	P4	1998-2004	0,38	0,13	2,74	0,053
	P5	2005-2011	0,35	0,07	1,98	0,033
Caminhões Leves	Pré P1 e P2	Pré -1995	0,92	0,34	5,31	0,328
	P3	1995-1998	0,83	0,28	3,36	0,163
	P4	1998-2004	0,45	0,15	3,28	0,064
	P5	2005-2011	0,42	0,08	2,37	0,040
Caminhões Médios	Pré P1 e P2	Pré -1995	1,26	0,46	7,28	0,449
	P3	1995-1998	1,14	0,38	4,60	0,223
	P4	1998-2004	0,62	0,21	4,49	0,087
	P5	2005-2011	0,58	0,11	3,25	0,054
Caminhões Pesados	Pré P1 e P2	Pré -1995	2,21	0,81	12,73	0,785
	P3	1995-1998	1,99	0,65	8,04	0,391
	P4	1998-2004	1,08	0,37	7,85	0,153
	P5	2005-2011	1,01	0,19	5,68	0,095
Ônibus Urbanos	Pré P1 e P2	Pré -1995	3,06	1,12	17,57	1,084
	P3	1995-1998	2,75	0,92	11,10	0,539
	P4	1998-2004	1,50	0,51	10,84	0,211
	P5	2005-2011	1,39	0,27	7,84	0,131
ônibus Rodoviários	Pré P1 e P2	Pré -1995	2,32	0,85	13,34	0,823
	P3	1995-1998	2,08	0,69	8,43	0,409
	P4	1998-2004	1,14	0,39	8,23	0,160
	P5	2005-2011	1,06	0,20	5,95	0,099

Fonte: Adaptado de MMA, 2011.

Vale salientar que estes valores são obtidos em ensaios de laboratório utilizando os combustíveis de referência. Os veículos em uso podem utilizar um combustível com teor diferente de enxofre, o que altera também a emissão de material particulado (MMA, 2011).

Para as motocicletas os fatores de emissão utilizados foram obtidos no Relatório anual da CETESB do ano de 2010. Estes valores são provenientes de processos de homologação estabelecidos pelo PROMOT a partir de 2003 (MMA, 2011), para esta categoria de veículos. Os dados são apresentados (Tabela 4.3) por ano de fabricação do veículo e por categoria de cilindradas. Neste estudo não foram calculadas as taxas de emissão para o poluente material particulado, para esta categoria, por não ser um poluente regulamentado pelo PROMOT.

Tabela 4.3: Fatores Médios de Emissão para Motocicletas e Veículos Similares.

ANO	MOTOR	COMBUSTÍVEL	CO (g/Km)	HC (g/Km)	NO_x (g/Km)	CO_2 (g/Km)
2003	≤150cc	Gasolina	4,79	0,73	0,15	43,30
	151 a 500cc	Gasolina	7,30	1,17	0,17	81,70
	≥ 501 cc	Gasolina	3,54	0,11	0,11	163,20
2004	≤150cc	Gasolina	6,07	0,82	0,18	47,20
	151 a 500cc	Gasolina	7,30	1,17	0,17	81,70
	≥ 501 cc	Gasolina	3,67	0,69	0,12	172,10
2005	≤150cc	Gasolina	2,61	0,46	0,16	43,00
	151 a 500cc	Gasolina	3,14	0,59	0,14	82,00
	≥ 501 cc	Gasolina	1,73	0,40	0,13	145,00
2006	≤150cc	Gasolina	2,24	0,34	0,18	53,00
	151 a 500cc	Gasolina	1,75	0,38	0,16	64,50
	≥ 501 cc	Gasolina	1,23	0,21	0,05	201,00
2007	≤150cc	Gasolina	1,80	0,32	0,17	59,50
	151 a 500cc	Gasolina	2,00	0,37	0,15	76,50
	≥ 501 cc	Gasolina	1,32	0,22	0,10	158,00
2008	≤150cc	Gasolina	1,36	0,23	0,12	54,60
	151 a 500cc	Gasolina	1,72	0,29	0,15	74,30
	≥ 501 cc	Gasolina	1,25	0,19	0,07	132,45
2009	≤150cc	Gasolina	1,09	0,17	0,10	61,15
	151 a 500cc	Gasolina	1,07	0,12	0,11	86,50
	≥ 501 cc	Gasolina	1,02	0,15	0,11	142,75
2010	≤150cc	Gasolina	0,68	0,17	0,07	52,48
	>150 cc	Gasolina	1,14	0,12	0,09	78,61

Fonte: CETESB, 2011.

A quantidade de combustível vendido no ano de 2010 foi cedida pela Secretaria da Fazenda de Mato Grosso do Sul (Tabela 4.4). O consumo de combustível por automóvel foi calculado com base na quantidade de veículos circulando no mesmo ano em Campo Grande (Equação 4.1).

$$C = \frac{N}{C_v} \qquad (4.1)$$

Onde:

C é o consumo de combustível por veículo em um ano (L/ano)

N é o número de veículos

C_v é a quantidade de combustível vendido no ano (L/ano).

Tabela 4.4: Quantidade de Combustível Vendida em Campo Grande no Ano de 2010.

Combustível	Venda em 2010 (L/ano)	Consumo (L/ veículo ao ano)	Número de veículos
Álcool	74.593.823	1.384,51	53.877,50
Gasolina	205.640.181	865,30	237.652,50
Diesel	279.113.036	9.791,04	28.507,00
Total	559.347.040	12.040,85	320.037

Fonte: Secretaria da Fazenda, 2011.

4.3. O Modelo AERMOD

Para a realização da análise de estabilidade atmosférica, foi necessária a compilação de dados meteorológicos do ano de 2003 ao ano de 2010 para a cidade de Campo grande.

A análise da dispersão dos poluentes NO_x, CO e MP_{10} foi realizada através do modelo de dispersão atmosférica AERMOD *View*, obtido pela UFMS no ano de 2011. Estes poluentes são regulamentados pelo CONAMA 03/1990.

Primeiramente todos os dados meteorológicos são convertidos do formato "*.xls"* para o formato requerido pelo programa AERMOD (formato "*.sam"*) através de seu pré-processador AERMET. Os dados meteorológicos foram cedidos pelo CEMTEC/AGRAER de Mato Grosso do Sul.

Após a conversão destes dados foi preciso introduzir parâmetros de superfície do local em estudo. Para este estudo o local foi considerado totalmente urbano (Figura 4.3). :

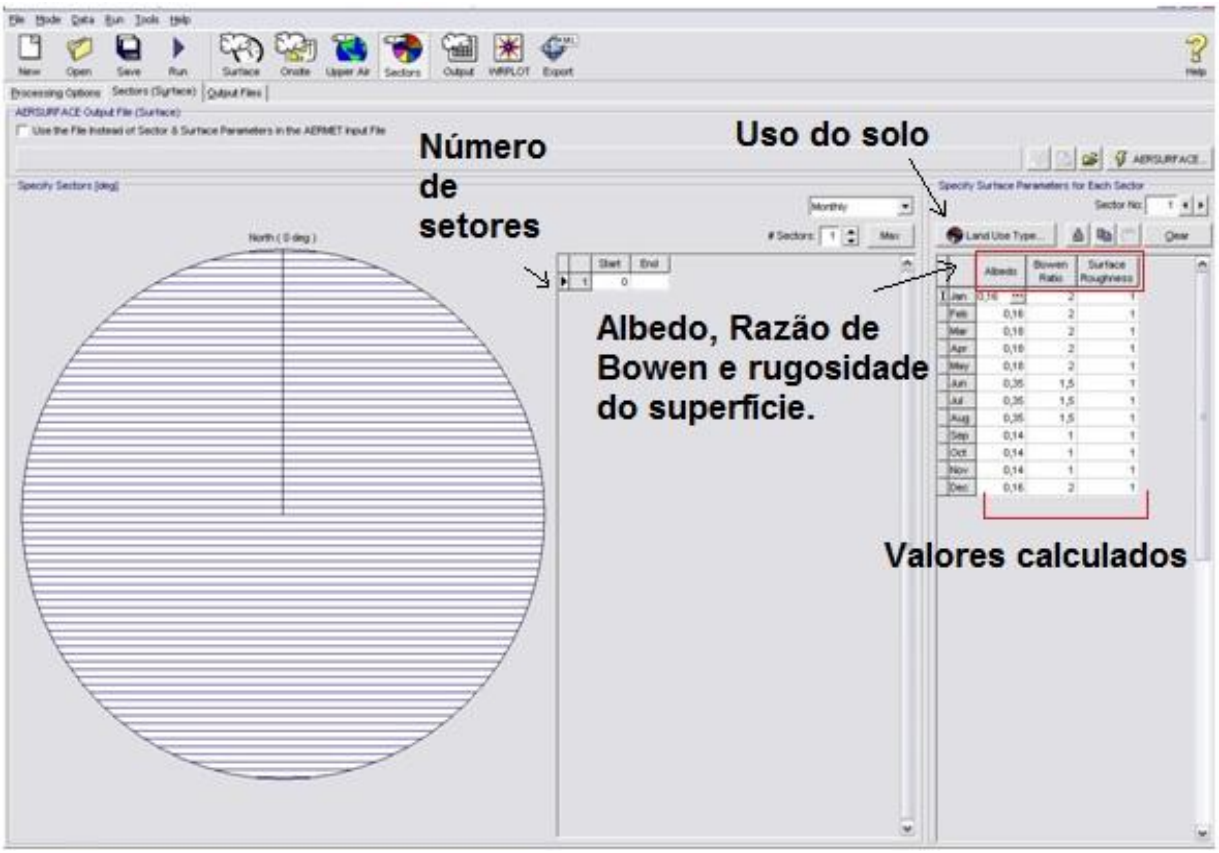


Figura 4.3: Divisão da Superfície em Estudo Setor Urbano.

Através da divisão em setores da região em estudo de acordo com o uso do solo, o AERMET calcula o albedo, a rugosidade da superfície e a razão de *Bowen*, para cada estação do ano e mensalmente. Foi necessário, ainda, a informações da estação meteorológica localizada à latitude 20,45º S e longitude 54,6166º O, a uma elevação de 530 metros.

O processador AERMET utiliza a seguinte classificação para as categorias de velocidades do vento, em m/s (Tabela 4.5):

Tabela 4.5: Categorias de Velocidades do Vento

Velocidade do Vento (m/s)	Classe
1,54	A –extremamente instável
3,09	B – medianamente instável
5,14	C – ligeiramente instável
8,23	D - neutra
10,23	E - estável

Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012), Álvares Jr. *et al.* (2002)

Na avenida em estudo há dois sentidos de circulação: sentido centro-bairro, denominada via 1; e bairro-centro,denominada via 2, como mostra a Figura 4.4. Em cada uma das vias circulam os seguintes tipos de veículos:

- Motocicletas;
- Carros de passageiro;
- Comercial leve;
- Ônibus urbano;
- Ônibus rodoviário;
- Caminhão leve;
- Caminhão médio e;
- Caminhão pesado.

Foram realizadas 3 filmagens, no dia 10/02/2012, com uma hora cada, para quantificar e qualificar as categorias de veículos que circulam neste local,. A contagem foi realizada com a colaboração de dois estagiários. As categorias foram separadas com critérios visuais.

Para a obtenção das médias de emissão requeridas pelo modelo AERMOD, foi necessário multiplicar o fator de emissão para cada tipo de veículo (g/Km) pela velocidade (Km/h) e dividir este resultado por 3.600, obtendo um valor em g/s (gramas por segundo), como mostra a Equação 4.2 .Este resultado foi multiplicado pelo número médio de veículos em cada via em 1 dia.

$$\frac{\left(\frac{g}{Km} x \frac{Km}{h}\right)}{3600} \qquad (4.2)$$

Os fatores de emissão utilizados nesta fase do estudo foram do ano de 2010, obtidos no relatório anual da CETESB (2011), como mostrado na Tabela 4.6. Estes dados foram introduzidos no modelo para cada poluente e categoria, em cada uma das vias para a geração de todas as imagens de dispersão no local de estudo.

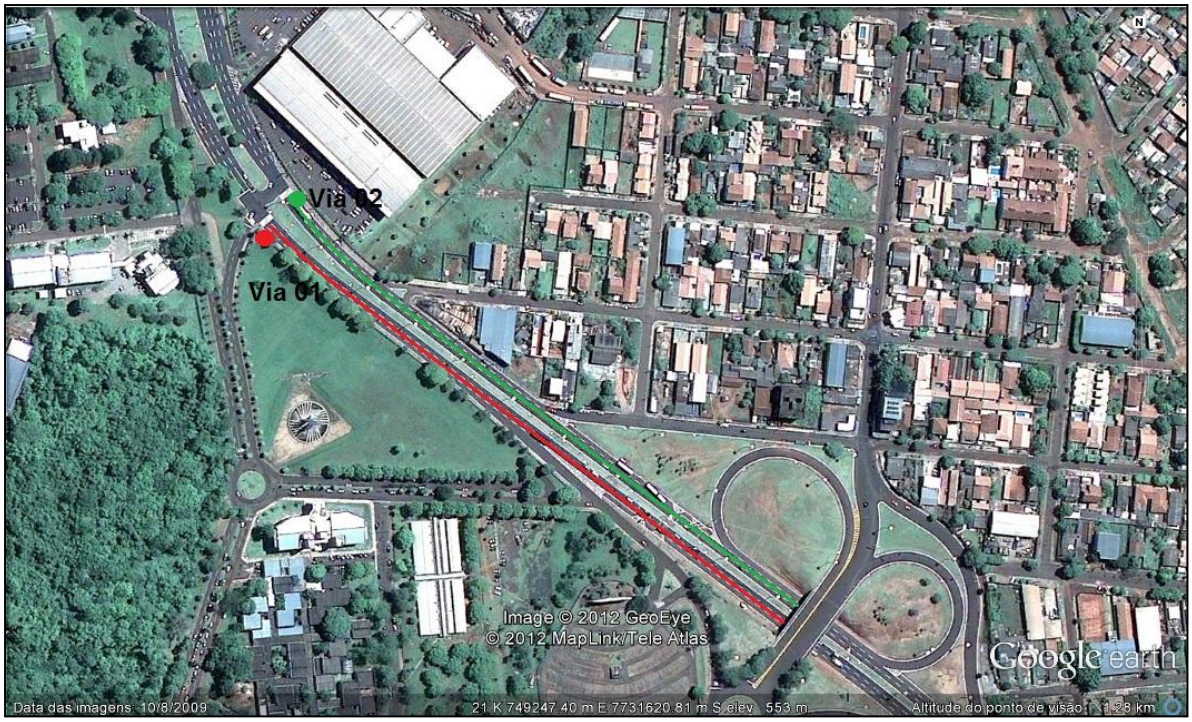


Figura 4.4: Vias Destinadas à Contagem e Observação de Veículos na Avenida Costa e Silva e Modelagem da Dispersão. Fonte: *Google Earth*, 2011.

Tabela 4.6: Fatores Médios de Emissão para o modelo AERMOD.

CO										
	Via	Moto-cicleta	Carro de passeio	Ônibus urbano	Ônibus rodoviário	Comercial leve	Caminhão leve	Caminhão médio	Caminhão pesado	Total
Fator de emissão (g/Km)	-	0,86	0,26	1,39	1,06	0,35	0,42	0,58	1,01	5,92
Velocidade média (Km/h)	01	50	50	50	50	50	50	50	50	-
	02	50	50	50	50	50	50	50	50	-
Emissão média (g/s)	01	21,8609	17,5856	2,4711	0,6674	0,4343	0,4550	1,8044	1,3186	46,5973
	02	10,9304	8,7928	1,2356	0,3337	0,2171	0,2275	0,9022	0,6593	23,2986
NO_x										
	Via	Motocicleta	Carro de passeio	Ônibus urbano	Ônibus rodoviário	Comercial leve	Caminhão leve	Caminhão médio	Caminhão pesado	Total
Fator de emissão (g/Km)	-	0,07	0,03	0,27	0,20	0,07	0,08	0,11	0,19	1,02
Velocidade média (Km/h)	01	50	50	50	50	50	50	50	50	-
	02	50	50	50	50	50	50	50	50	-
Emissão média (g/s)	01	1,7863	1,7241	0,4800	0,1259	0,0869	0,0867	0,3422	0,2481	4,8801
	02	0,8931	0,8620	0,2400	0,0630	0,0434	0,0433	0,1711	0,1240	2,4400
MP										
	Via	Motocicleta	Carro de passeio	Ônibus urbano	Ônibus rodoviário	Comercial leve	Caminhão leve	Caminhão médio	Caminhão pesado	Total
Fator de emissão (g/Km)	-	0,0035	0,0011	0,1310	0,0990	0,0330	0,0400	0,0540	0,0950	0,46
Velocidade média (Km/h)	01	50	50	50	50	50	50	50	50	-
	02	50	50	50	50	50	50	50	50	-
Emissão média (g/s)	01	0,0893	0,0759	0,2329	0,0623	0,0409	0,0433	0,1680	0,1240	0,8367
	02	0,0447	0,0379	0,1164	0,0312	0,0205	0,0217	0,0840	0,0620	0,4184

Nesta etapa, foram feitas as seguintes considerações:

- A frota de veículo de passageiro foi considerada totalmente movida à gasolina, devido a impossibilidade de identificação visual da utilização dos combustíveis;
- Toda a frota de caminhão foi considerada movida a diesel e calculada uma média de seus fatores para cada categoria;
- Toda a frota de motocicleta foi considerada movida a gasolina, sem distinção de cilindradas;
- A velocidade média foi considerada em 50 Km/h em todas as categorias, por haver no local um radar eletrônico;
- Os fatores de emissão foram considerados do ano de 2010.

Estas considerações subestimam as emissões reais. Somente por observação não há como confirmar o número de veículos que circulam com cada tipo de combustível e com sua respectiva data de fabricação ou ainda se há alguma alteração realizada no motor.

O trecho estudado das vias possui cerca de 450m de comprimento e 10m de largura cada. A altura de lançamento dos escapamentos adotado foi aproximadamente zero. Todos estes dados são inseridos no programa para a realização do cálculo da dispersão. Após a inserção das duas vias em estudo, o modelo AERMOD gerou 15 nós em cada via, como mostra a Figura 4.5. Foram estudadas as categorias que apresentaram maior número de veículos sendo elas carro de passeio, moto e caminhão pesado. Para estas categorias foram selecionado os períodos de 1 hora, 24 horas e anual para o cálculo da dispersão no modelo.

Figura 4.5: Detalhe das Vias em Estudo no Modelo de Dispersão AERMOD. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012).

5. Resultados e Discussões

5.1. Frota em Campo Grande

A frota de Campo Grande é constituída por aproximadamente 315.024 veículos automotores circulantes no ano de 2010, distribuída como mostrado a seguir na Figura 5.1, de acordo com o tipo de combustível usado.

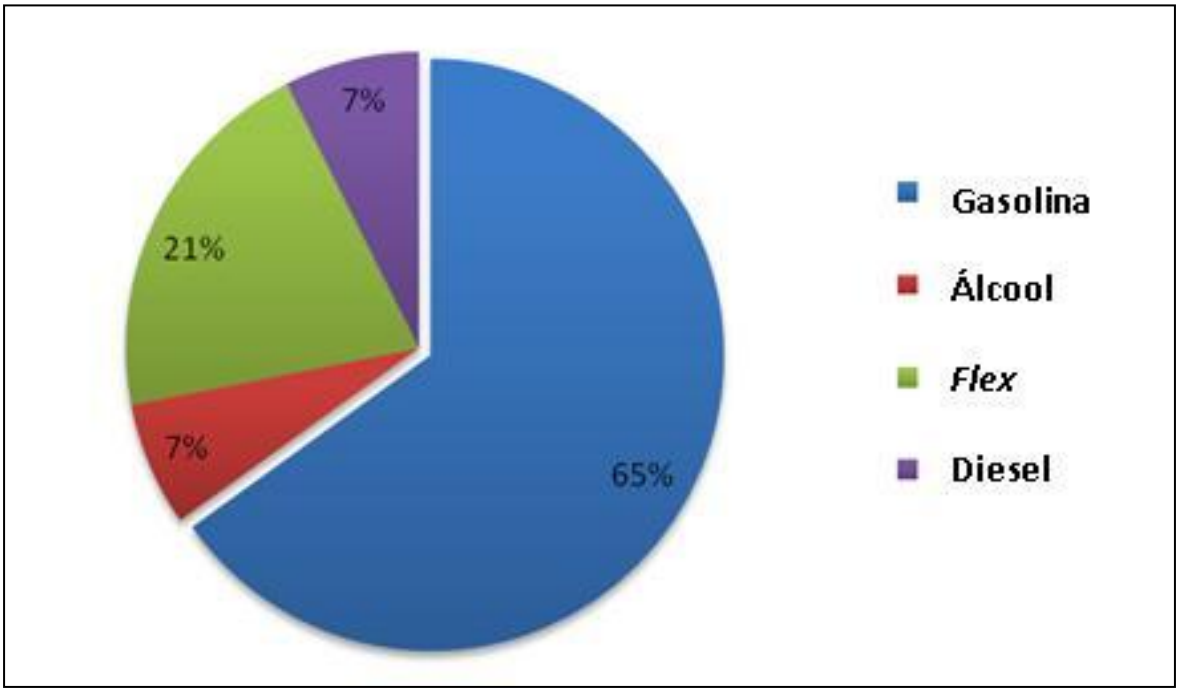


Figura 5.1: Distribuição da Frota de Campo Grande, no ano de 2010, de Acordo com o Combustível Utilizado. Fonte: DETRAN, 2011.

Esta frota é constituída por 91% de carros e motocicletas, somente 9% da frota circulante é constituída por ônibus, micro-ônibus, caminhões leves e pesados. Campo Grande possui uma frota pequena de ônibus urbanos, formada por 535 veículos. A Figura 5.2 mostra a distribuição desta frota por categoria de veículo.

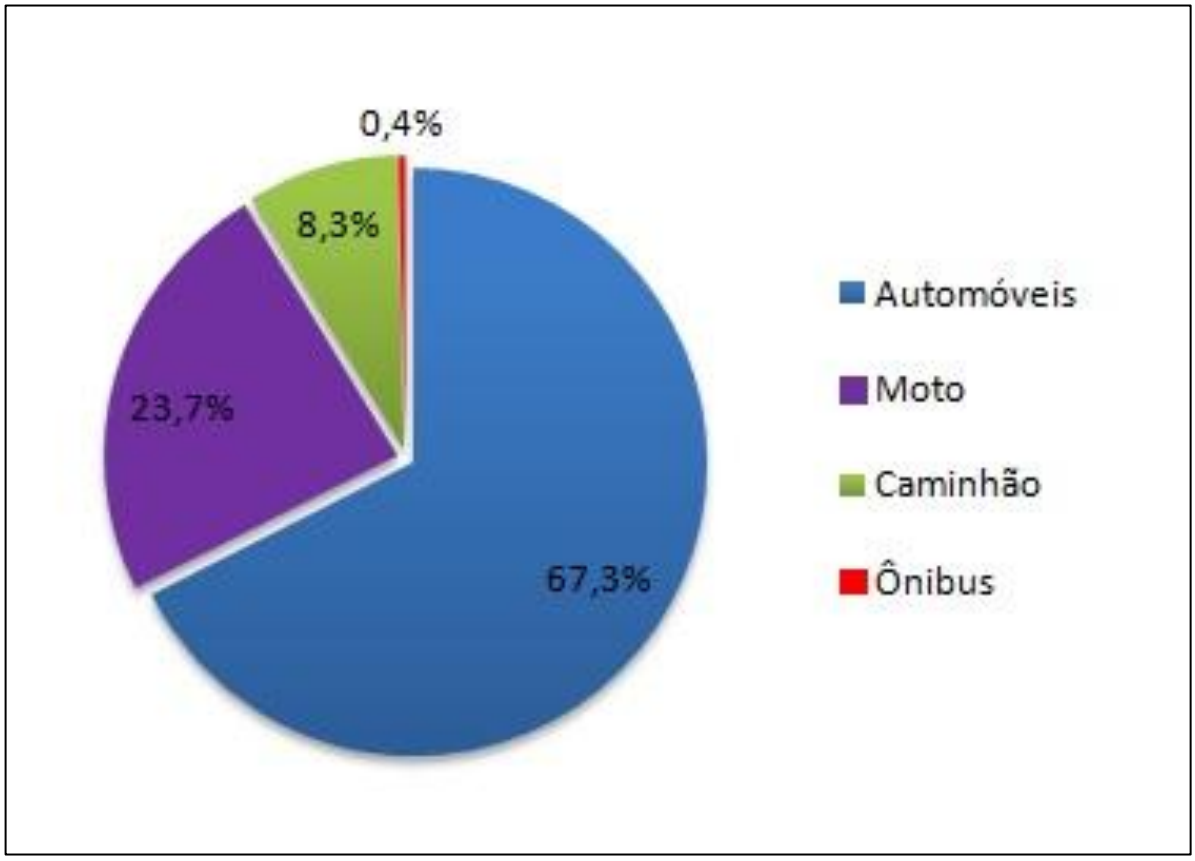


Figura 5.2: Distribuição da Frota por Categoria de Veículo em Campo Grande, no Ano de 2010. Fonte: DETRAN, 2011.

Não existem dados precisos da quantidade de veículos circulantes no estado de Mato Grosso do Sul. O DETRAN possui várias quantificações e estatísticas de frota, porém estes são veículos licenciados, circulantes ou não, e algumas vezes sendo computado mais de uma vez. No caso de veículos pesados, ocorre o licenciamento separado de eixo, o que afeta na quantidade final de veículos.

Tabela 5.1: Número de veículos circulantes licenciados em Campo Grande no ano de 2010, de acordo com o tipo de combustível utilizado.

Combustível	Número de Veículos
Álcool	21.402
Gasolina	205.177
Flex	64.951
Diesel	28.507
Total	315.024

Fonte: DETRAN, 2011.

Ressalta-se que os veículos a gasolina apresentados na Tabela 5.1 é o somatório das frotas de veículos de passeio movidos a gasolina, veículos *flex* movidos a gasolina e a frota de motocicletas. Para a frota a álcool o resultados é a soma da frota de veículos movida somente a este combustível e a frota *flex* que utiliza como combustível o álcool.

Em relação à frota *flex fuel*, deve-se realizar um estudo específico sobre o a porcentagem real de combustível utilizada. Neste estudo foi considerado que 53% da frota *flex* utiliza álcool. Apesar de ser um combustível mais barato (Tabela 5.2), o álcool é consumido em maior quantidade pelo motor, por ter um menor poder calorífico se comparado à gasolina, o que leva o consumidor a verificar que seu veículo possivelmente rodaria mais com 01 litro de gasolina comparado a 01 litro de álcool.

Tabela 5.2: Variação de Preço de Combustível Álcool e Gasolina nos últimos anos em Reais por litro.

Preço/Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Gasolina	2,570	2,737	2,684	2,673	2,620	2,649
Álcool	1,633	1,915	1,699	1,708	1,697	1,825

Fonte: MMA (2011) e MME (2011).

5.2. Taxas de Emissão

A estimativa de poluentes emitidos na atmosfera de Campo Grande no ano de 2010 por veículos automotores foram calculados através da Equação 3.4. O Resultado deste cálculo é apresentado na Tabela 5.3, em gramas por ano. Estes lançamentos, conforme mencionado na metodologia, são resultados da soma das emissões totais para cada poluente, a cada ano de fabricação (pré -1980 a 2010) no ano de estudo (2010). Neste cálculo não há distinção de categoria na frota a diesel, sendo considerado o número de veículos desta frota a soma de ônibus e caminhões. Não foi considerada nesta etapa do estudo a frota de motocicletas.

Tabela 5.3: Estimativa da Quantidade de Poluentes Lançados na Atmosfera de Campo Grande no Ano de 2010 em g/ano.

Poluente/Com-bustível	CO (g/ano)	HC (g/ano)	NO_x (g/ano)	CO_2(g/ano)	MP (g/ano)
Gasolina	4.828.248.420	545.183.428	14.659.321,23	195.024.957.858	2.452.533
Álcool	1.737.678.591	196.241.314	1.154.559,53	106.612.048.200	*
Diesel	1.991.161.422	11.697.268.865	13.945.248,80	*	200.723.819
Total Geral	8.557.088.433	12.438.693.607	29.759.130	301.637.006.058	203.176.352

* não calculado.

A gasolina é o combustível que emite em maior quantidade o poluente CO_2 e em seguida o CO. O álcool emite mais CO_2 seguido por CO, porém emitindo cerca de 54% menos CO_2 que a gasolina. O combustível diesel emite mais HC seguido de CO. Esta emissão é cerca de 21,5 vezes maior que a emitida por gasolina e 59,7 maior que a emissão deste poluente por álcool.

O resumo da Tabela 5.3 é apresentado na Figura 5.3 Esta figura mostra a porcentagem de emissão total, sendo obervado a predominância do poluente CO_2 nas emissões, ressaltando que o CO_2 é um dos gases responsáveis pelo aumento do aquecimento global. O segundo mais emitido é o hidrocarboneto, sendo o combustível diesel o responsável por 94% desta emissão.

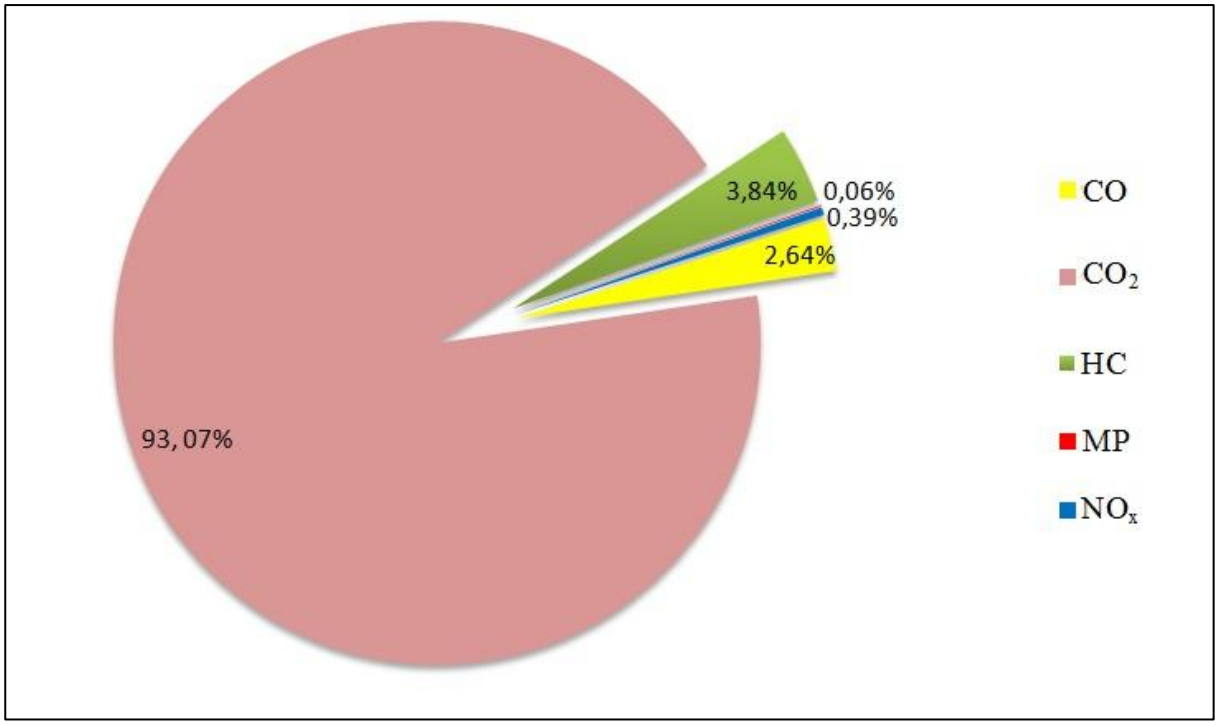


Figura 5.3: Gráfico da Distribuição das Emissões de Poluentes no ano de 2010.

Foram calculadas, para cada uma das categorias de veículos, suas emissões no ano de 2010. O resultados deste cálculo é apresentado na Tabela 5.4. A frota diesel, neste cálculo, engloba caminhões e ônibus.

Tabela 5.4: Emissões Totais por Categoria de Veículos.

Poluente /Combustível	CO (T/ano)	HC (T/ano)	NO_x (T/ano)	CO_2 (T/ano)	MP (T/ano)
Gasolina	4.607,21	511,13	452,30	92.879,75	1,8
Flex Gasolina	221,04	34,05	21,.06	102.145,20	0,62
Álcool	1.388,62	151,85	131,32	915,60	*
Flex Álcool	349,06	47,05	31,52	112.038,23	*
Motocicleta Gasolina	1.648,26	270,58	104,54	44.454,05	3,87
Diesel	1.991,16	11.697,27	630,74	*	200,72
Total Geral	10.205,35	12.711,93	1.350,42	352.432,83	207,01

* não calculado.

O maior contribuinte para as emissões de CO são os veículos de passeio, apresentados na tabela 5.4 como frota gasolina e frota gasolina flex. Os veículos de passeio movidos a álcool são o segundo maior emissor de CO. A frota de veículos movido a gasolina é pouco mais de 9,5 vezes maior que a frota a álcool e emite cerca de 2,77 vezes mais CO.

A Tabela 5.5 apresenta um resumo da Tabela 5.4. Os valores são o resultado das emissões por combustível para cada poluente estudado.

Tabela 5.5: Emissões Totais por Combustível no Ano de 2010.

Poluente /Combustível	CO (T/ano)	HC (T/ano)	NO_x (T/ano)	CO_2 (T/ano)	MP (T/ano)
Gasolina	6.476,51	815,76	577,90	239.479,00	6,29
Álcool	1.737,68	198,90	162,84	112.953,83	*
Diesel	1.991,16	11.697,27	630,74	*	200,72
Total Geral	10.205,35	12.711,93	1.371,48	352.432,83	207,01

* não calculado.

Os veículos a gasolina são os maiores contribuintes para as emissões de CO, totalizando 6.476,51 toneladas no ano de 2010. As maiores emissões dos veículos a gasolina são os poluentes HC e CO_2. Para os poluentes MP e NO_x os veículos a diesel são mais poluidores, mesmo possuindo uma frota menor em circulação em relação à frota de veículos movidos a álcool e gasolina.

O resultado do cálculo da estimativa de emissão de CO no ano de 2010 é apresentado na figura 5.4. Este cálculo foi realizado para os veículos fabricados em cada ano que circularam no ano de 2010.

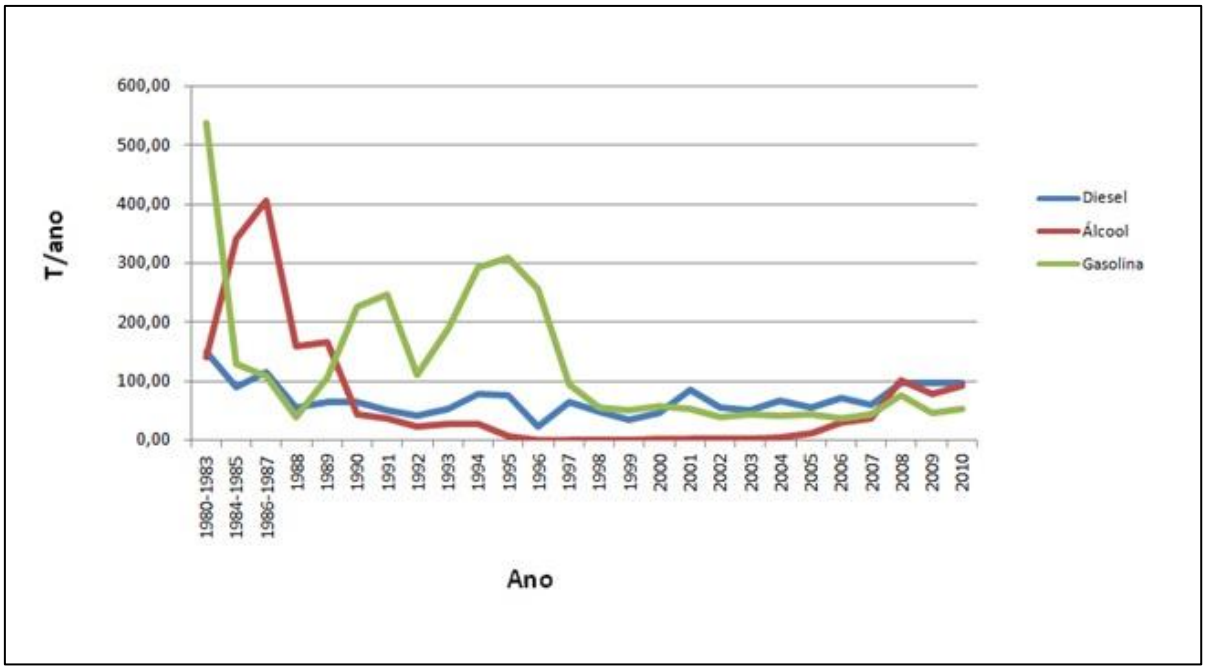


Figura 5.4: Gráfico das Emissões Totais de CO em 2010.

A Figura 5.4 mostra uma queda acentuada de emissões de CO nos veículos movidos à gasolina. Esta queda deve-se ao fato da implantação do PROCONVE. Ocorreu neste período uma redução drásticas nos fatores de emissão nos veículos fabricados a partir de 1980. O mesmo ocorre com os veículos movidos à diesel. Para os veículos movidos à álcool observa-se um aumento nas emissões. Isto ocorre devido ao número de veículos circulante no ano de 2010 fabricados entre 1983 a 1987. Observa-se uma tendência no aumento das emissões deste poluente a partir do ano de 2008.

Para efeito de comparação, na região metropolitana de Campinas (SP) os veículos movidos a gasolina (942.262 veículos) emitiram 109,85 x 10^3 toneladas de CO e os movidos à álcool (153.177 veículos) foram responsáveis por 32,22 x 10^3 toneladas de CO no ano de 2008 (Ueda & Tomaz, 2011).

De acordo com o PINEAVAR (MMA, 2011) foram emitidos 425.118 toneladas de CO em 2010 no Brasil somente por veículos movidos a gasolina e 469.516 toneladas emitidas por motocicletas neste mesmo ano.

O cálculo da estimativa de emissão do poluente CO_2 foi realizado para os veículos circulante no ano de estudo com fabricação a partir de 2002 movidos a álcool e à gasolina. Isto ocorreu devido ao fato de haver dados de fatores de emissão para este poluente somente a

partir deste ano. Para o combustível diesel não há fatores de emissão. Os resultados são mostrados na Figura 5.5.

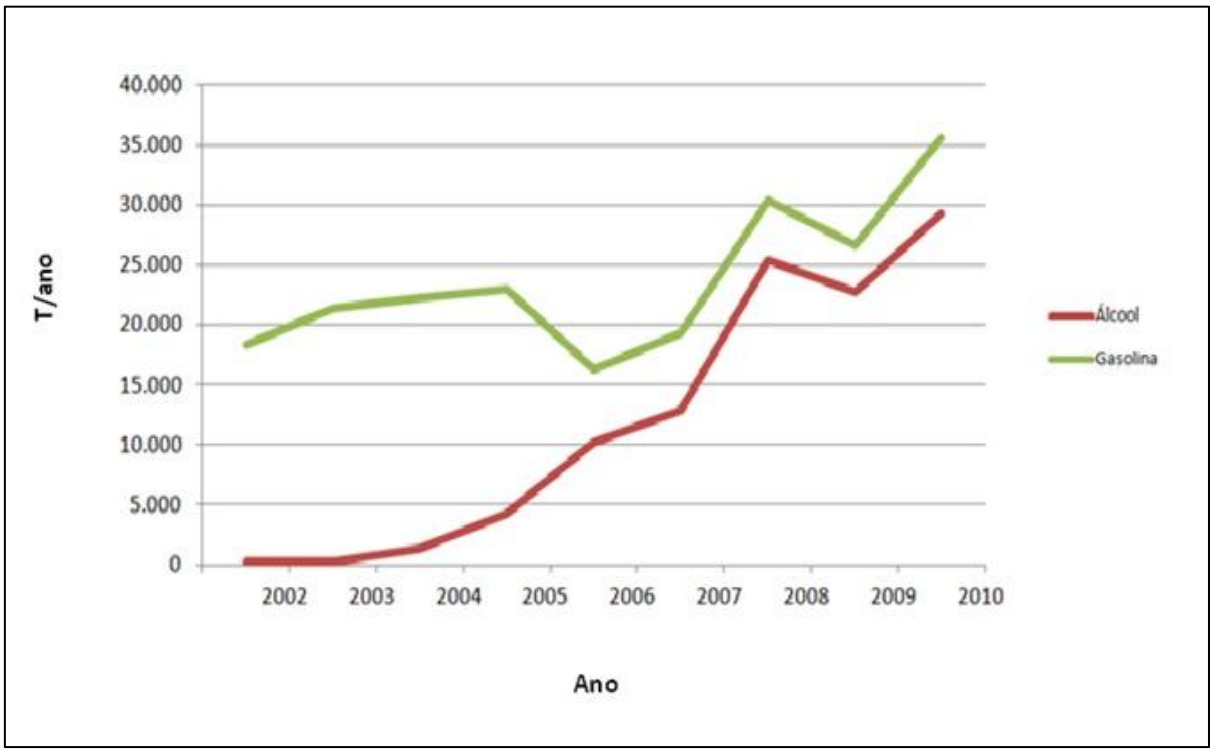


Figura 5.5: Gráfico das Emissões Totais de CO_2 em 2010 para Veículos Fabricados entre 2002 a 2010.

Ao avaliar a Figura 5.5, observou-se um aumento nas emissões de CO_2, isto se deve ao fato do aumento na frota de veículos, que se mostra constante. No período entre 2003 e 2010 o fator de emissão para os veículos flex gasolina baixou gradativamente (de 210 g/Km para 178 g/Km), o que resultou em uma diminuição nas emissões. Para os veículos movidos totalmente a gasolina o fator de emissão manteve-se em torno de192 g/Km até o ano de 2007. A partir de 2008 houve um grande aumento no fator de emissão para esta mesma frota, passando para 223g/Km no ano de 2008 e 223 g/Km no ano de 2009 e diminuindo novamente em 2010 (213 g/Km). No ano de 2010 haviam aproximadamente 127.753 veículos movidos a gasolina fabricados até o ano de 2009 e 47.361 veículos com tecnologia *flex fuel*, fabricados neste mesmo período. Somando-se com os veículos fabricados no ano de 2010 a frota movida a gasolina passou para 64.951 veículos, e a frota a gasolina aumentou para 129.477, assim, apesar da redução nos fatores de emissão ocorreu m aumento nas emissões.

O aumento nas emissões de CO_2 para os veículos à gasolina é observado pelo aumento na frota de veículos desde o ano de 2003, pois o fator de emissão para este combustível manteve-se em média 170 g/Km.

As variações observadas no cálculo das estimativas de emissão de hidrocarbonetos são apresentadas nas Figuras 5.6 e 5.7. A figura 5.6 apresenta os resultados para os três combustíveis em estudo para cada ano de fabricação dos veículos que circularam em Campo Grande no ano de 2010.

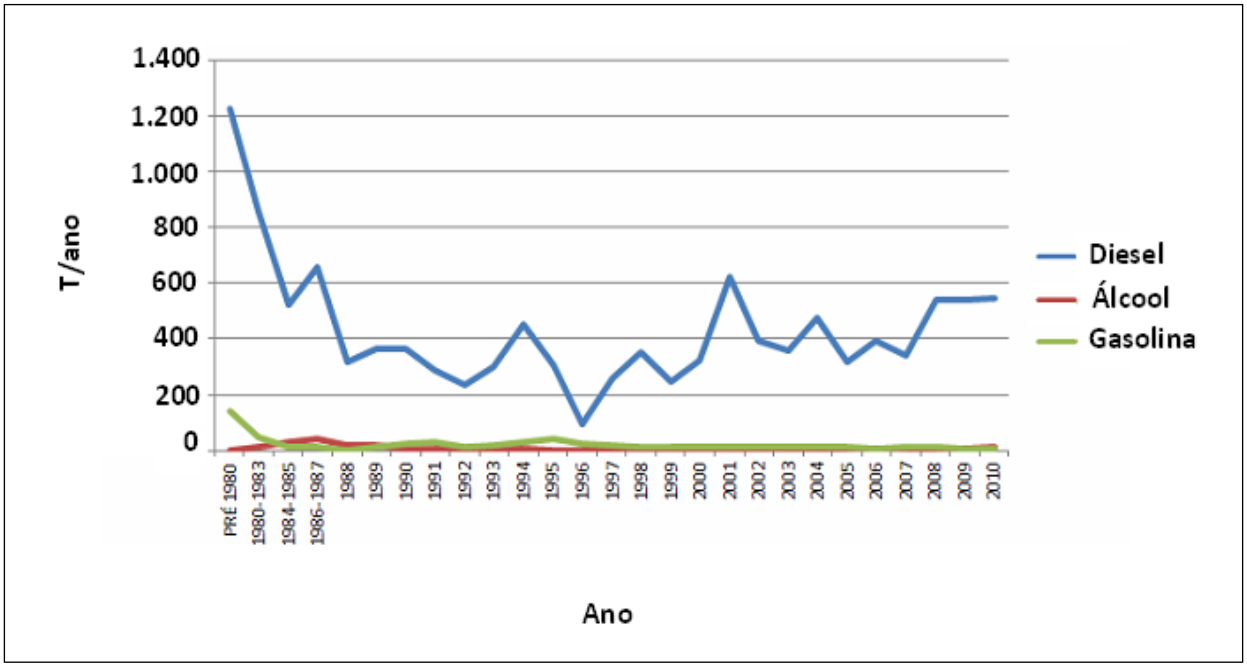


Figura 5.6: Gráfico das Variações de Emissões de HC em Campo Grande no ano de 2010.

Observa-se uma queda nas emissões para os veículos diesel fabricados no ano de 1980 até 1985 devido à implantação do PROCONVE, quando ocorreu uma diminuição nos fatores de emissão para estes veículos. Estudos apresentados no PINEAVAR apontam a diminuição das emissões nacionais de HC nos próximos anos. Ocorre a oscilação nas emissões deste poluente para a frota movida a diesel devido às variações no número de veículos nesta frota em cada ano de fabricação, que, por vezes aumenta e diminui. A título de exemplo, no ano de 2010 haviam 1.003 veículos fabricados no período de 1984-1985 e 1.220 veículos no período de 1986-1987. Havia em 2010 somente 543 veículos a diesel fabricados no ano de 1988.·.

A Figura 5.7 apresenta os resultados obtidos no cálculo das emissões de HC para o ano de 2010 para a frota movida à gasolina a álcool.

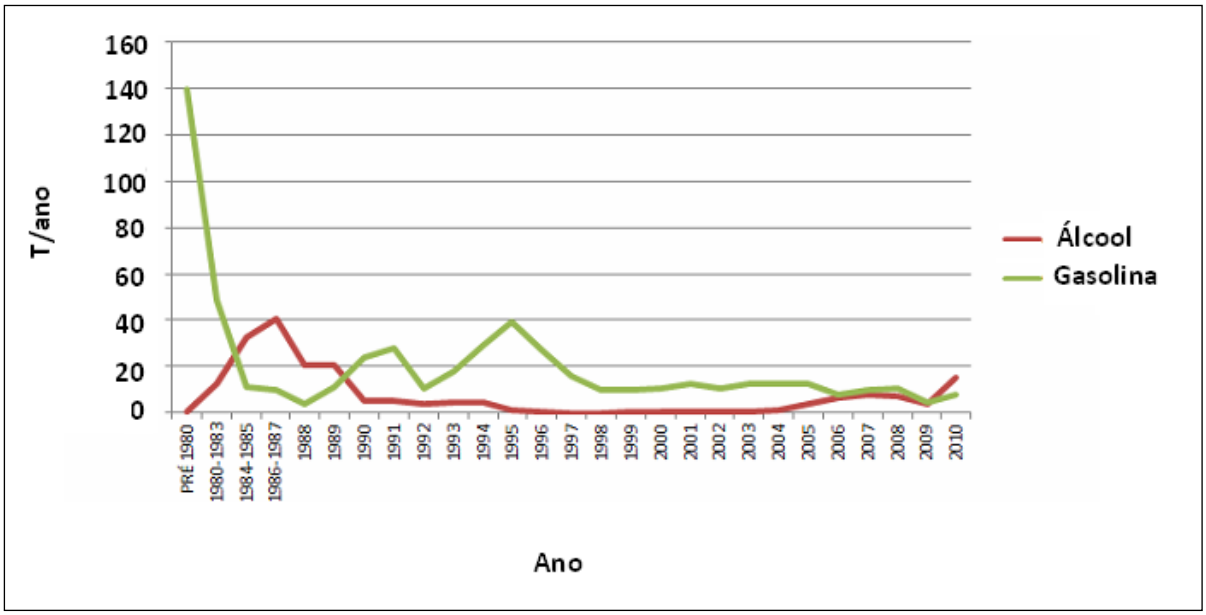


Figura 5.7: Gráfico das Emissões Totais de Hidrocarbonetos em 2010 para os Combustíveis Gasolina e Álcool.

Ao analisar a Figura 5.7, observa-se uma queda acentuada nas emissões de HC para os veículos a gasolina, devido à implantação do PROCONVE. Antes deste programa o fator de emissão para a gasolina era de 3 g/Km, diminuindo para 2,4 g/Km no período de 1984-1985. Neste mesmo período o fator de emissão para os veículos movidos a álcool manteve o mesmo (1,6 g/Km), porém houve um aumento no número de veículos fabricados nestes anos que circularam em 2010.

Apesar de uma fator de emissão baixo para os veículos à gasolina e à álcool, 0,002 g/Km e 0,01 g/Km respectivamente, houve um aumento na emissão de HC a partir de 2009. Além do aumento expressivo da frota neste mesmo ano, há em circulação cerca de 42 mil veículos fabricados até o ano de 1992 em circulação hoje. Estes veículos não possuem as recomendações das fases L1 e L2 do PROCONVE, as quais diminuem a emissão de tal gás, o aumento também pode ocorrer pela falta de manutenção de tais veículos.

O resultado da estimativa de emissões de MP é apresentado na Figura 5.8. Para o combustível diesel, nota-se grande variação nas estimativas das taxas de emissões, porém, estes valores mostram se estabilizar a partir de 2008. Esta oscilação ocorre devido à variação na frota desta categoria A tendência de diminuição nas emissões está ligada à melhoria da qualidade de combustível. No ano de 2012 cocorreu lançamento da nova tecnologia de combustíveis o "S50", o qual possui um menor teor de enxofre, em atendimento à Resolução CONAMA 415 de 24 de setembro de 2009.

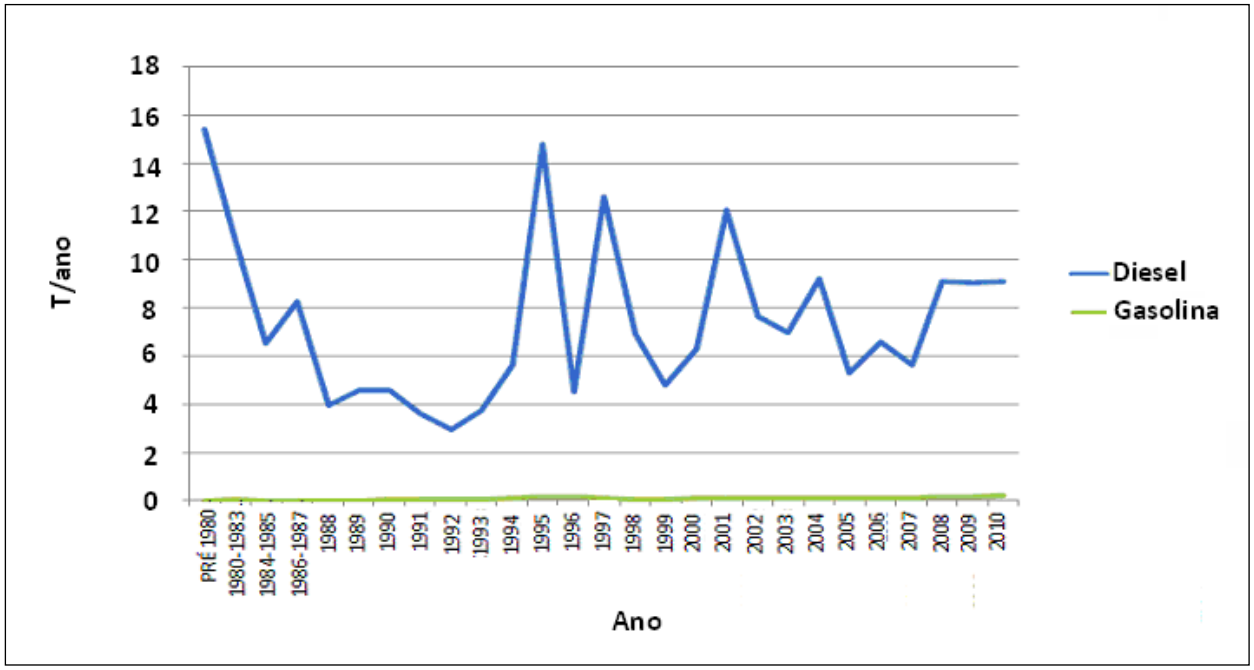


Figura 5.8: Gráfico das Emissões de Material Particulado em 2010.

Há pouca emissão de MP para os veículos movidos à gasolina, se comparadas às emissões do combustível diesel. Para veículos a gasolina fabricados antes de 1980 até o ano de 1996 o fator de emissão é de 0,0024 g/Km, diminuindo para 0,0011 a partir de 1997. Apesar desta diminuição nos fatores de emissão houve um aumento na frota de veículos, o que justifica o aumento de emissão deste poluente.

No ano de 2010 foram emitidos no Brasil 297 toneladas de MP por veículos movidos à gasolina, 828 toneladas por motocicletas e 27.644 toneladas por veículos movidos à diesel. Neste ano circularam no Brasil 12.165.549 veículos movidos à gasolina, 10.586.377 veículos

flex fuel, 2.892.414 movidos à diesel e 11.127.177 motocicletas (MMA, 2011). Apesar da frota de motocicletas ser um pouco menor que à de veículos movido à gasolina, a primeira emitiu quase 3 vezes mais MP que a segunda.

A partir dos cálculos das estimativas de emissão realizados neste estudo, observou-se uma grande queda nas emissões de NO_x a partir de 1980 para os combustíveis diesel e gasolina devido à implantação do PROCONVE (Figura 5.9). A partir de 2008 houve uma estabilização das emissões para o combustível diesel

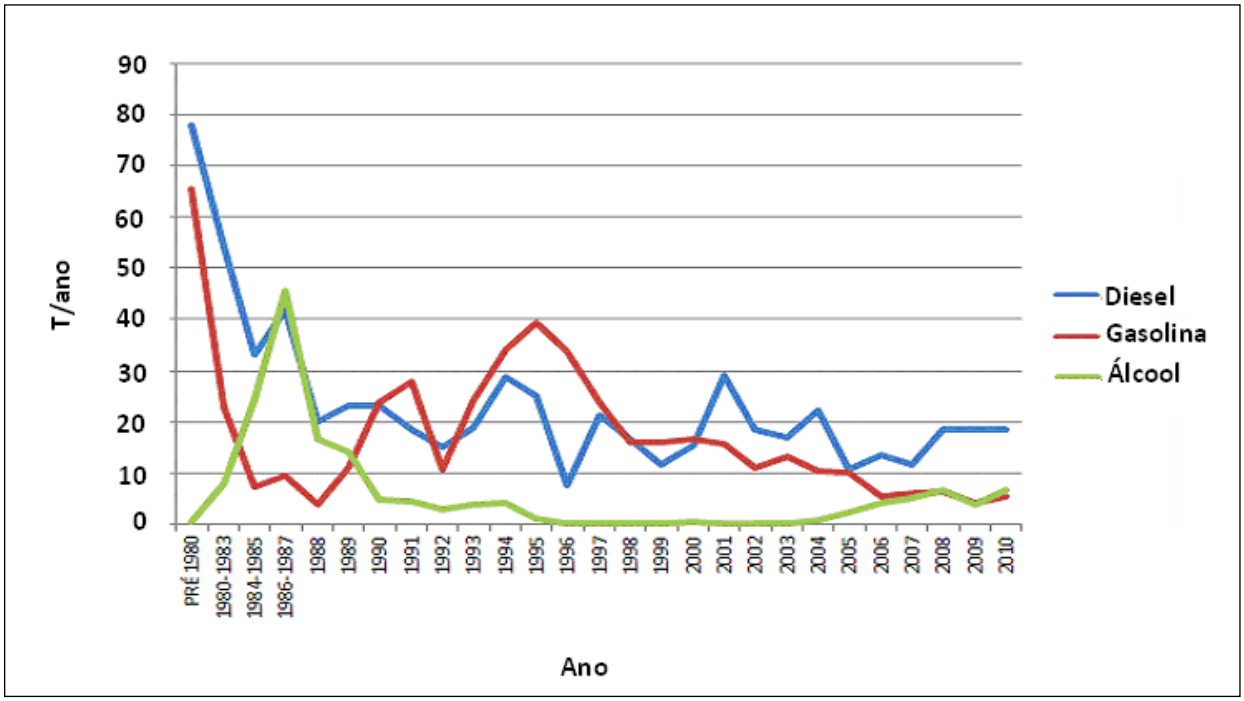


Figura 5.9: Gráfico das Emissões de Óxido de Nitrogênio em 2010.

Para a gasolina as variações ocorreram, provavelmente, devido ao acréscimo de álcool a este combustível à ao aumento da frota, pois houve uma diminuição dos fatores de emissão deste combustível. Como a tecnologia *flex fuel* permite que a gasolina tenha um teor maior de álcool que a legislação, pode também ser a causa deste aumento nas emissões de NO_x. Teixeira et al. (2008) percebeu este mesmo aumento nas emissões de NOx na frota de Porto Alegre em 2004. Para o álcool ocorreu o aumento das emissões para a frota fabricada antes de 1980 até 1987, devido ao brusco aumento desta frota neste mesmo período. No ano de 2010

havia somente 151 veículos a diesel fabricados anteriormente a 1980 e 13.595 veículos fabricados até 1987 circulando em Campo Grande.

Para efeito de comparação, em 2004 na região metropolitana de Porto Alegre (RS) os 866.938 veículos movidos a gasolina foram responsáveis por 6.750 toneladas de NO_x emitidos neste mesmo ano (Teixeira et al., 2008). Na região metropolitana de Campinas (SP) os 942.262 veículos a gasolina emitiram 4,78 10^3 toneladas de NO_x no ano de 2008 (Ueda & Tomaz, 2011)..

Ressalta-se aqui que para a frota de veículos movida a diesel foram realizados dois cálculos. Primeiramente para uma frota sem distinção em categoria. Posteriormente para a frota de caminhões pesados, caminhões leves/médios e ônibus. Esta separação foi necessária devido à inconsistência dos dados obtidos. Os resultados das estimativas de emissão são mostrados a seguir na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Taxas de Emissões para as Categorias a Diesel em 2010.

Categoria/Poluente	CO (g/ano)	HC (g/ano)	MP (g/ano)	NOx (g/ano)
Ônibus	254.407.414	1.468.593.773	43.870.916	71.984.987
Caminhão Pesado	1.616.958.888	455.637.423	273.560.297	9.187.212.351
Caminhão Leve/Médio	354.465.742	2.066.973.181	69.575.826	106.680.826

Analisando a tabela 5.6 observa-se que a frota que mais emite NO_x, MP e CO é a frota de caminhão pesado. Para o poluente HC o maior poluidor é a frota de caminhões leve/médio, isto se deve ao número de veículos desta frota.

A frota de ônibus calculada nesta segunda parte do estudo é relativamente pequena, se comparada à frota de veículos de passageiro, e tende a diminuir suas emissões devido às mudanças e melhora na qualidade do combustível e tecnologia dos motores, desde a implantação do PROCONVE. A Figura 5.10 mostra o total de emissões para o ano de 2010 para os veículos fabricados entre 1987 e 2010. Outro fator para a diminuição das emissões é tendência desses veículos a passarem por manutenções frequentes.

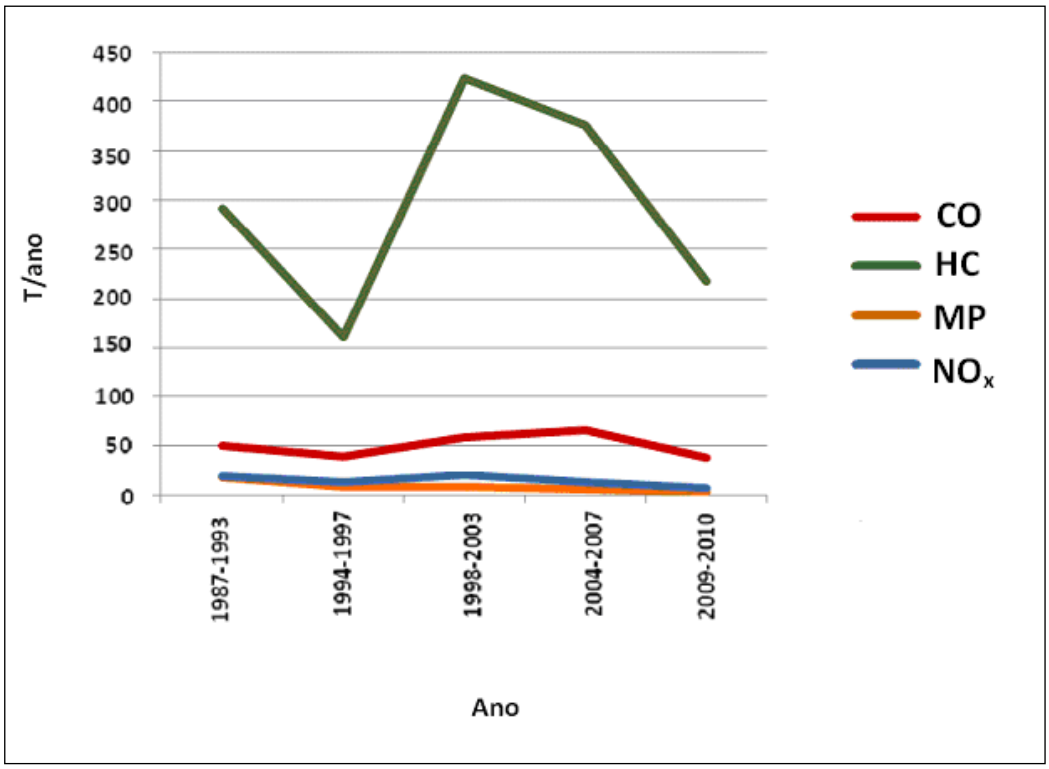


Figura 5.10: Gráfico das Variações das Emissões para a Frota de Ônibus.

Havia 205 veículos desta categoria fabricados entre 1987 e 1993 e 142 veículos fabricados entre 1994 e 1997 circulando em 2010. Esta diminuição no número de veículos é o responsável pela diminuição das emissões. O mesmo ocorre entre 2004 e 2010.

O HC é o poluente mais emitido pela frota de ônibus. A Figura 5.11 apresenta as porcentagens de emissões para este categoria. Deve-se pesquisar mais a fundo esta frota, pois não deve ocorrer emissões altas deste poluente pois o motor atinge altas temperaturas.

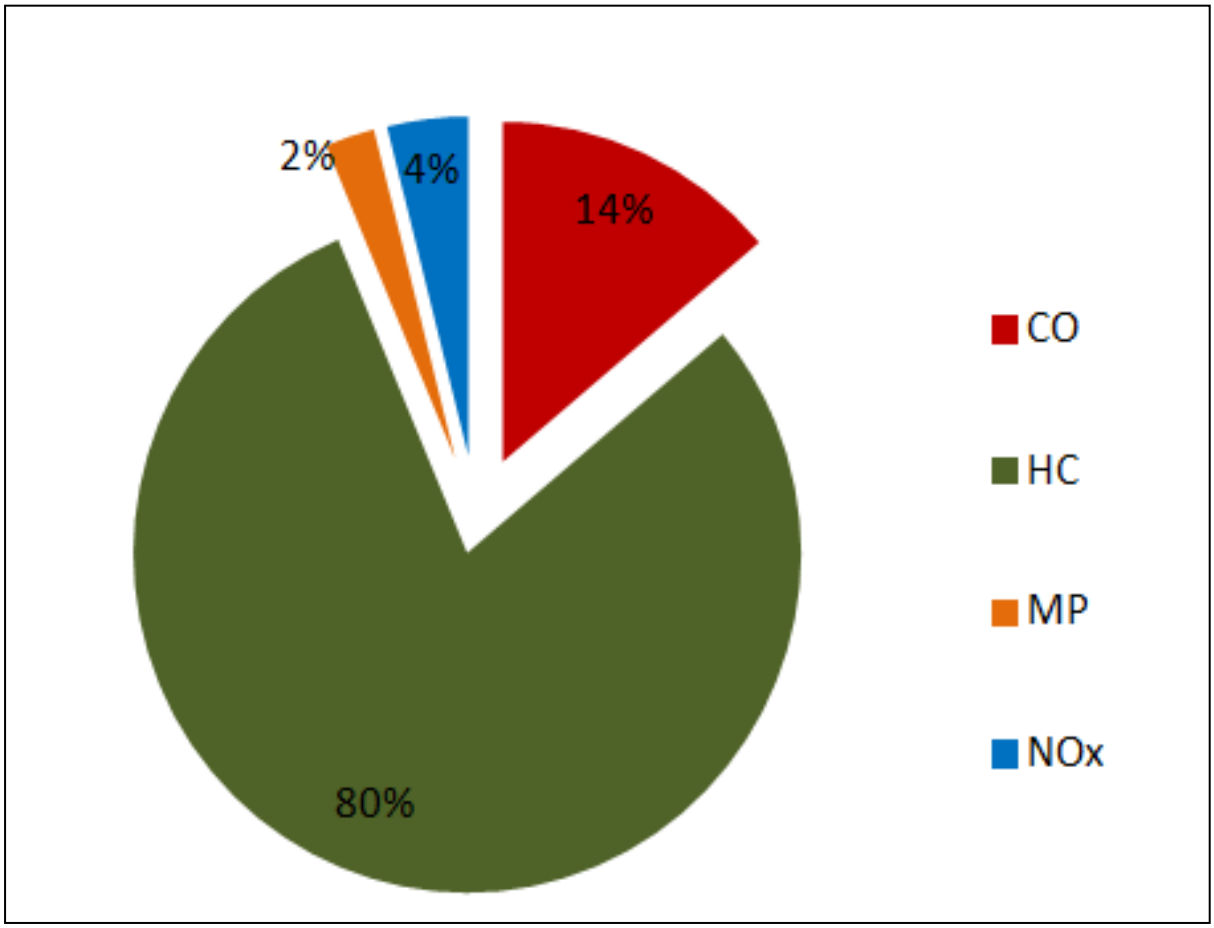


Figura 5.11: Porcentagem das Emissões para a Frota de Ônibus de Campo Grande para o ano de 2010.

As variações nas estimativas das emissões calculadas para a categoria caminhão no ano de 2010 são apresentadas na Figura 5.12. Observa-se um aumento nas emissões de NO_x para esta categoria e a tendência de estabilização nas emissões de HC, MP e CO. A melhora na qualidade do combustível é um fator que pode explicar este resultado.

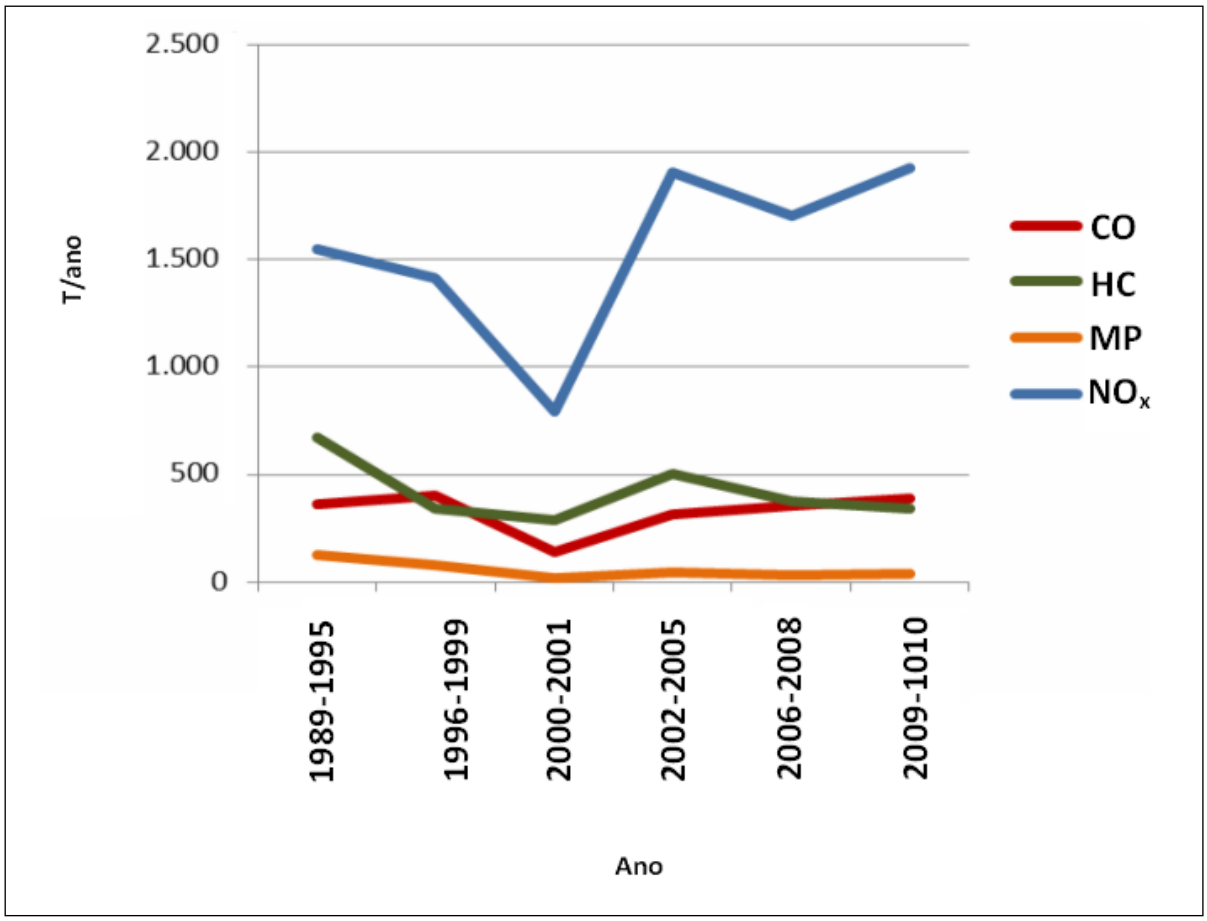


Figura 5.12: Gráfico das Variações das Emissões para a Frota de Caminhões.

Observa-se um aumento de emissão entre 2000 e 2005, isto se deve ao fato de haver 1.877 veículos fabricado entre 2000 e 2001 e 2.920 veículos fabricados entre 2002 e 2005 criculantes no ano de 2010.

O NO_x é o poluente mais emitido nesta categoria (Figura 5.13). A eficiência na combustão do diesel diminui a emissão de CO, HC e MP, porém aumenta a emissão de NO_x. A falta de manutenção e o excesso de peso transportado gera um aumento nas emissões dos poluentes.

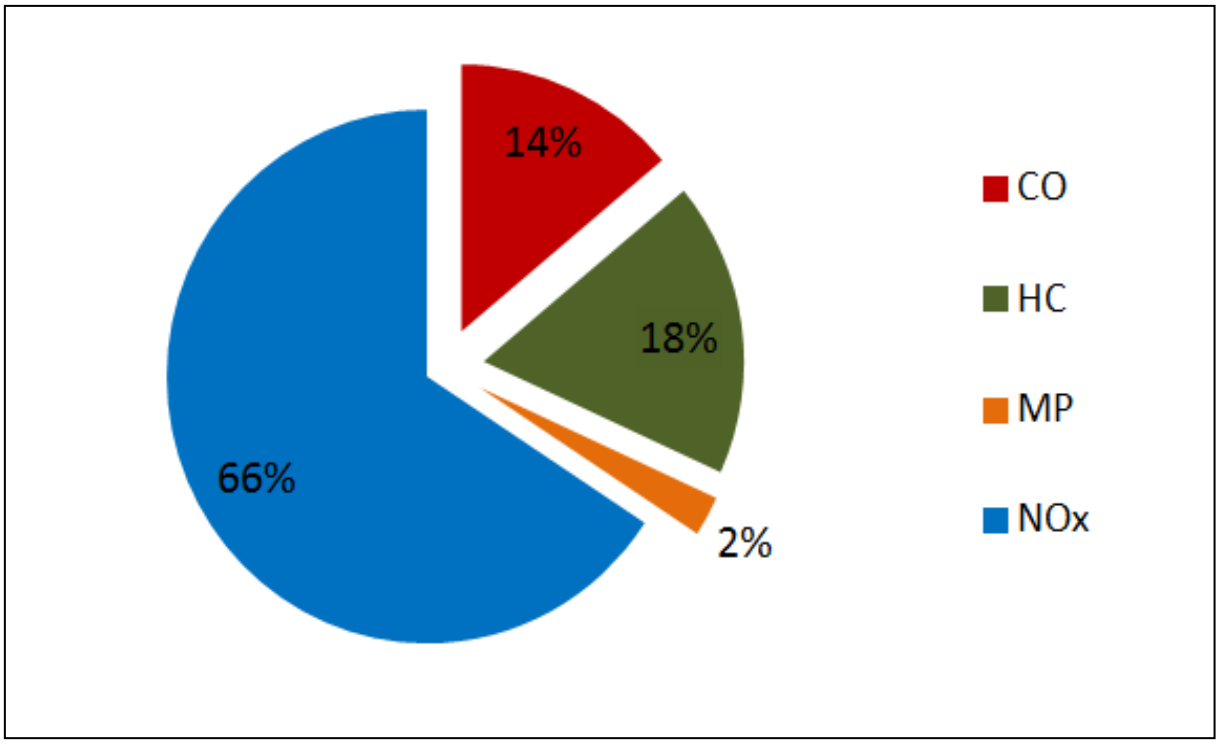


Figura 5.13: Gráfico da Porcentagem das Emissões para a Frota de Caminhões

As emissões totais das motocicletas foram calculadas separadamente das outras categorias, e os resultados são mostrados a seguir na Tabela 5.7 em toneladas ao ano.

Tabela 5.7: Estimativas das Emissões Totais de Poluentes para Motocicletas

Poluente	Total (T/ano)
CO	1.648,26
CO_2	44.454,05
HC	270,58
MP	3,87
NO_x	104,54

O poluente mais emitido por esta categoria é o CO_2. Devido à não regulamentação das emissões de CO_2 pelo PROMOT, há uma tendência no aumento dessas emissões. Outro fator para o aumento das emissões deste poluente é o aumento da frota circulante.

A Figura 5.14 mostra as variações nas emissões do poluente CO, CO_2, HC e MP para esta frota. Foram calculadas para casa ano de fabricação as emissões das motocicletas que circularam em 2010 em Campo Grande. No ano de 2010 havia 5.551 motocicletas fabricadas no ano de 2004 e 10.797 fabricadas em 2007 circulantes no ano de 2010. Isto justifica o crescimento brusco nas emissões de CO2 neste mesmo período.

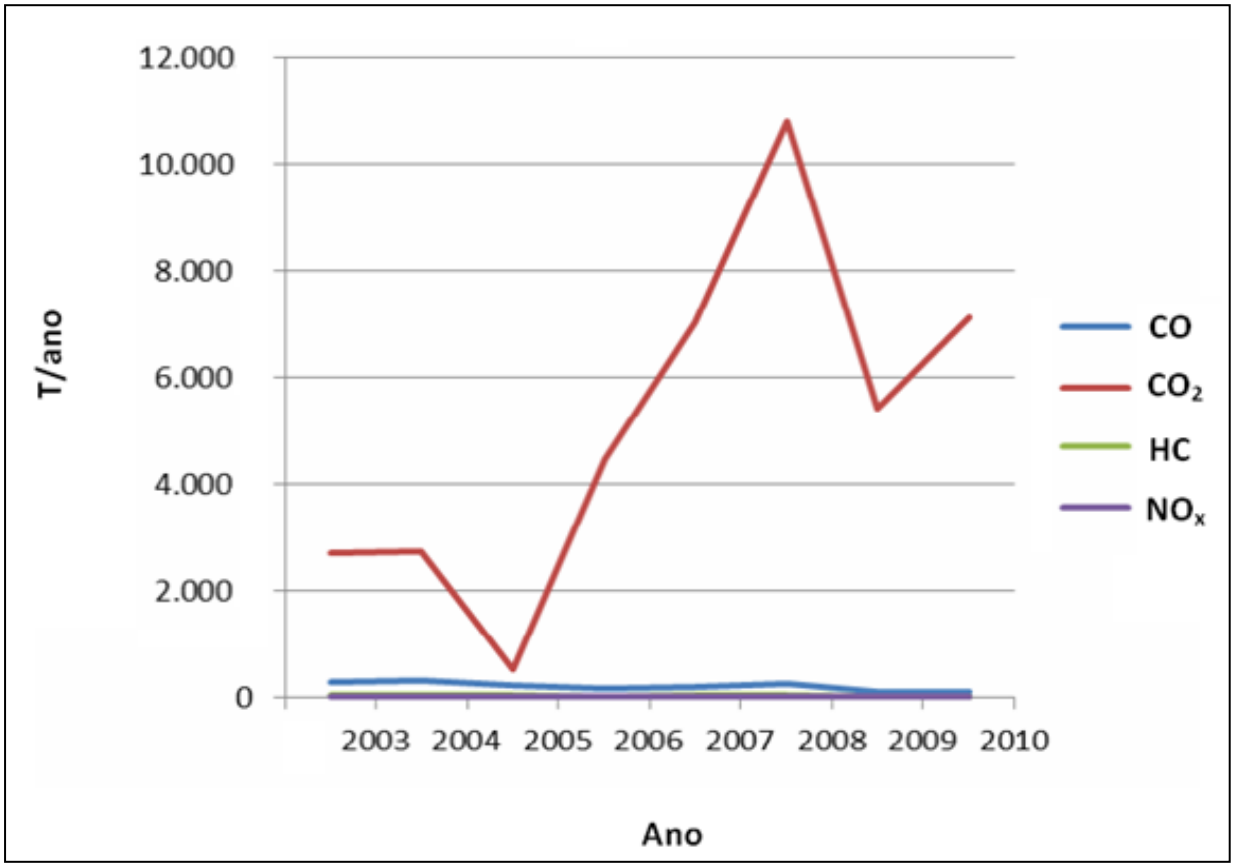


Figura 5.14: Gráfico das Emissões para Motocicletas em Campo Grande no ano de 2010.

Observa-se na Figura 5.15 as porcentagens das emissões para a categoria de motocicleta para o ano de 2010.

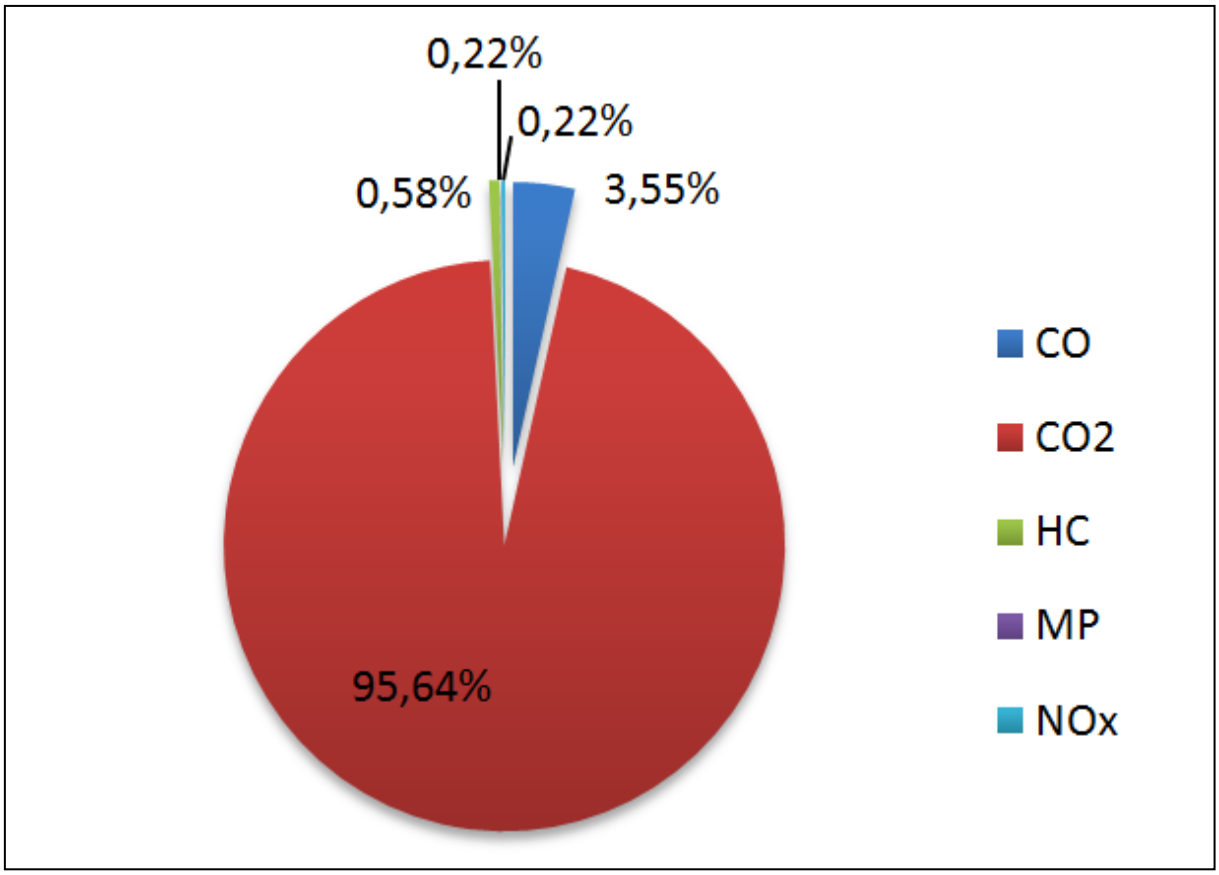


Figura 5.15: Porcentagem das Emissões para Motocicletas em Campo Grande no ano de 2010.

A Predominância quase total das emissões de CO_2 são preocupantes devido este poluente ser um dos intensificadores do efeito estufa. Deve-se pesquisar a fundo quais os reais motivos dessas emissões.

5.3. Análise da Dispersão em um Trecho da Avenida Costa e Silva

Durante um período de três horas observou-se o tráfego de veículos em um trecho da Avenida Costa e Silva, apresentando um fluxo de veículos intenso em sua maior parte do

tempo. A via 1 mostrou-se com um maior fluxo de veículos em todos os horários observados, tendo em vista que, para o sentido bairro-centro há alternativas para o escoamento do fluxo.

A Tabela 5.8 apresenta o número de veículos totais nas três horas de observação, sendo os valores divididos de acordo com os horários de observações. A contagem de veículo foi realizada a partir de 3 filmagens. As filmagens ocorreram nos períodos considerados com maior tráfego de veículos no trecho de estudo. A primeira ocorreu das 6 as 7 horas da manhã, a segunda das 11 as 12 horas da manhã e a terceira das 17 as 18 horas da tarde.

Tabela 5.8: Número de Veículos Circulantes na Avenida Costa e Silva

Categoria	1ªh	2ªh	3ªh	Total	%
Caminhão Pesado	49	35	57	141	1,26
Caminhão médio	94	108	134	336	3,00
Caminhão leve	33	40	44	117	1,05
Comercial leve	38	52	44	134	1,20
Motocicleta	975	735	1.046	2.756	24,62
Ônibus Urbano	79	46	67	192	1,72
Ônibus Rodoviário	17	26	25	68	0,61
Carro passeio	2.788	2.163	.2497	7.448	66,55
Total	4.073	3.205	1.417	11.192	100

A maior frota observada foi a de veículos de passeio, sendo 66,55% do total de veículos que circularam no trecho de estudo neste período. A frota de motocicleta foi a segunda maior frota encontrada.

As estimativas de emissões foram calculadas para cada categoria de veículo, sendo os resultados apresentados na Tabela 5.9 em g/dia.

Tabela 5.9: Concentração de Poluentes emitidos em um Período de 03 Horas na Avenida Costa e Silva por Categoria.

Poluente	Concentração (g/dia)			
	1ªh	2ªh	3ªh	Total
Caminhão Pesado				
CO	17.940	12.814	20.869	51.624
NOx	3.375	2.411	3.926	9.711
MP	1.687	1.205	1.963	4.856
HC	100.892	72.065	117.364	290.321
Caminhão Médio				
CO	5.342	11.774	14.609	36.630
NO_x	1.944	2.233	2.771	6.947
MP	954	1.096	1.360	3.410
HC	57.423	65.975	81.858	205.257
Caminhão Leve				
CO	615	746	820	2.181
NO_x	117	142	156	415
MP	59	71	78	208
HC	3.471	4.208	4.628	12.308
Comercial Leve				
CO	590	808	684	2.082
NO_x	118	162	137	416
MP	56	76	64	196
HC	3.340	4.570	3.867	11.776
Motocicleta				
CO	26.548	20.013	28.481	75.041
NO_x	2.169	1.635	2.327	6.132
HC	4.545	3.426	4.876	12.848
Ônibus Urbano				
CO	26.538	15.452	22.507	64.496
NO_x	5.155	3.002	4.372	12.528
MP	2.501	1.456	2.121	6.078
HC	149.679	87.155	126.943	363.778
Ônibus Rodoviário				
CO	12.097	18.501	17.789	48.387
NO_x	2.282	3.491	3.357	9.130
MP	1.130	1.728	1.661	4.519
HC	67.902	103.850	99.856	271.608
Carro Passageiro				
CO	37.791	29.319	33.846	100.956
NO_x	3.705	2.874	3.318	9.898
MP	163	126	146	435
HC	5.187	4.024	4.646	13.857

5.3.1. Carros de Passeio

No período observado, circularam na Avenida Costa e Silva aproximadamente 2.482 veículos de passeio por hora.

A dispersão foi calculada através do modelo AERMOD. Para o poluente CO para esta categoria obteve a seguinte característica de dispersão como mostra a Figura 5.16. A figura apresenta os maiores valores de concentração em μg/m^3 em 1 hora. A dispersão apresenta forma regular de dispersão, tendo uma concentração maior no meio das vias, portando-se como uma dispersão Gaussiana. O modelo calcula as concentrações a cada hora apresentando os valores máximos para o período em estudo.

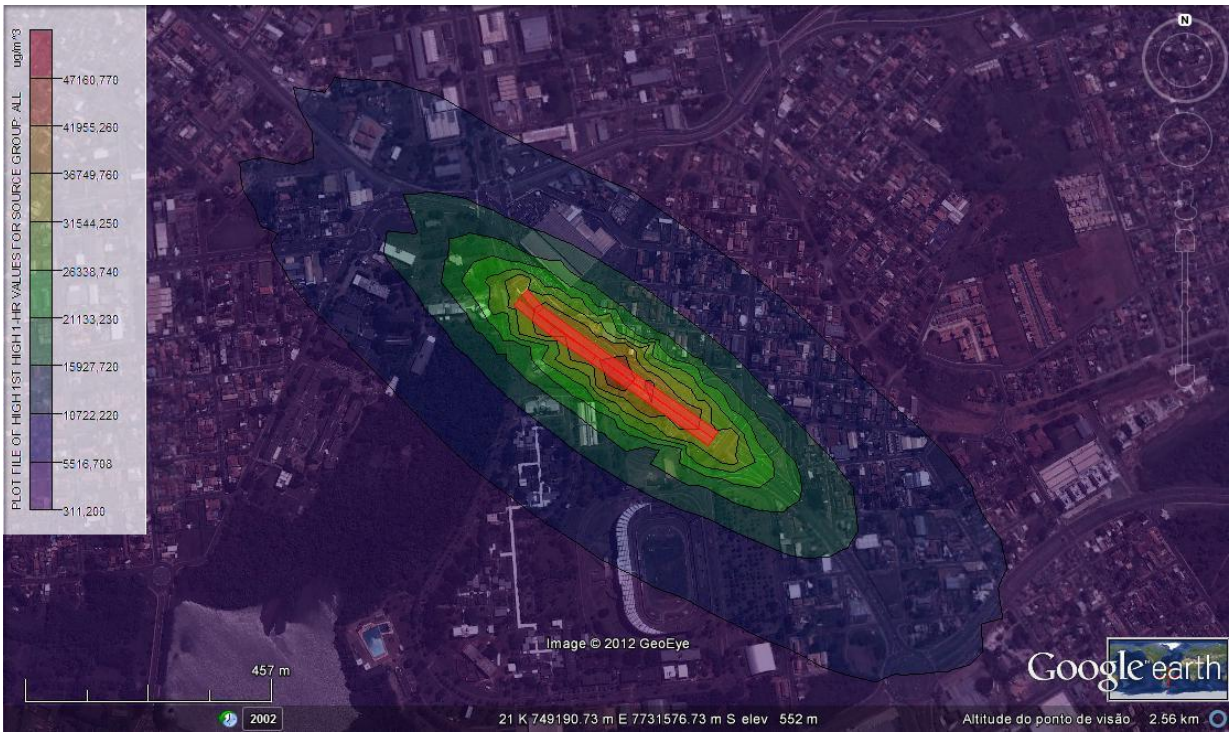


Figura 5.16: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima de 1 hora para CO. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

A Concentração máxima em 01 hora apresenta um valor de 47.160 μg/m^3, estando acima do padrão primário e secundário, em média horária, da Resolução CONAMA 03/1990 que é de 40.000 μg/m^3. O poluente se dispersa aproximadamente 400m no entorno da via em estudo. A concentração que atinge a universidade está de acordo com os padrões de qualidade do ar.

A Figura 5.17 mostra o poluente MP, para o qual o valor máximo atingido em um período de 24 horas foi de 49 μg/m^3, estando dentro do padrão primário de qualidade do ar.

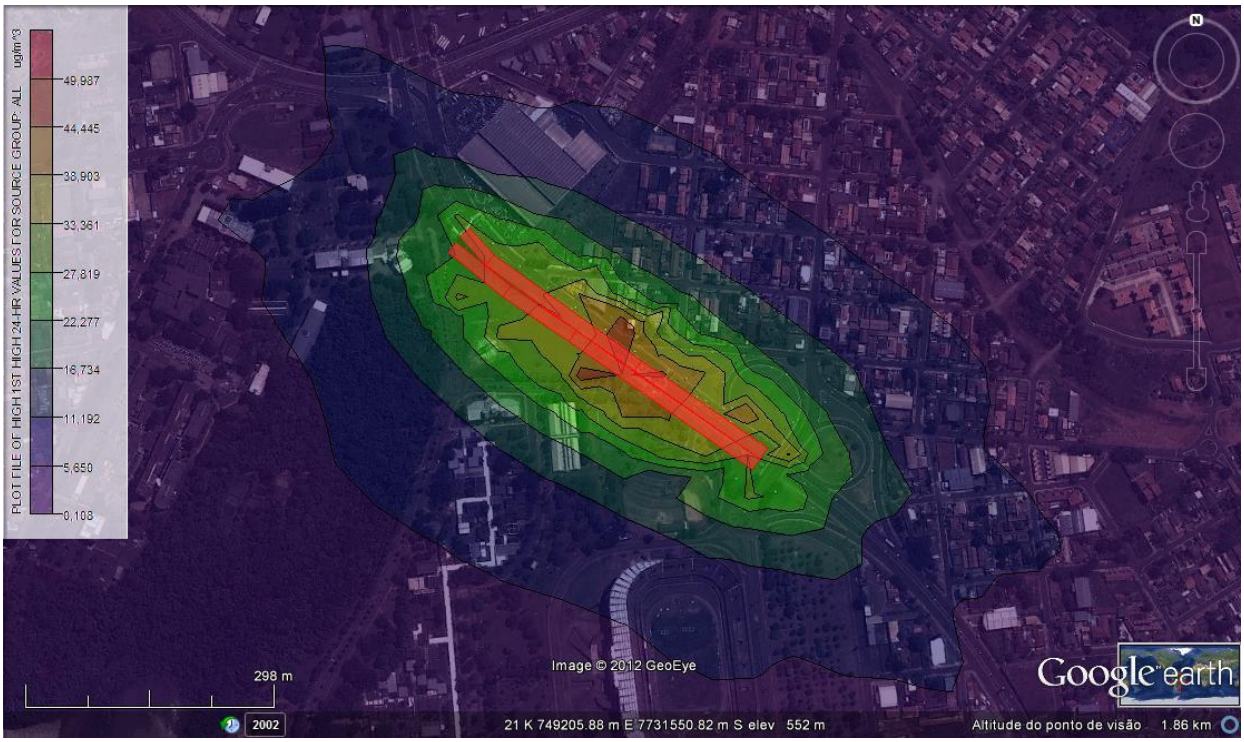


Figura 5.17: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima de 24 horas para MP. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

A Figura 5.18 mostra a concentração máxima anual atingida pelo poluente MP para os veículos de passeio, sendo 9,23 μg/m^3. Este valor está abaixo do padrão primário de qualidade do ar. Observou-se a tendência de dispersão para o lado sudoeste da região, levando a pluma a atingir a universidade.

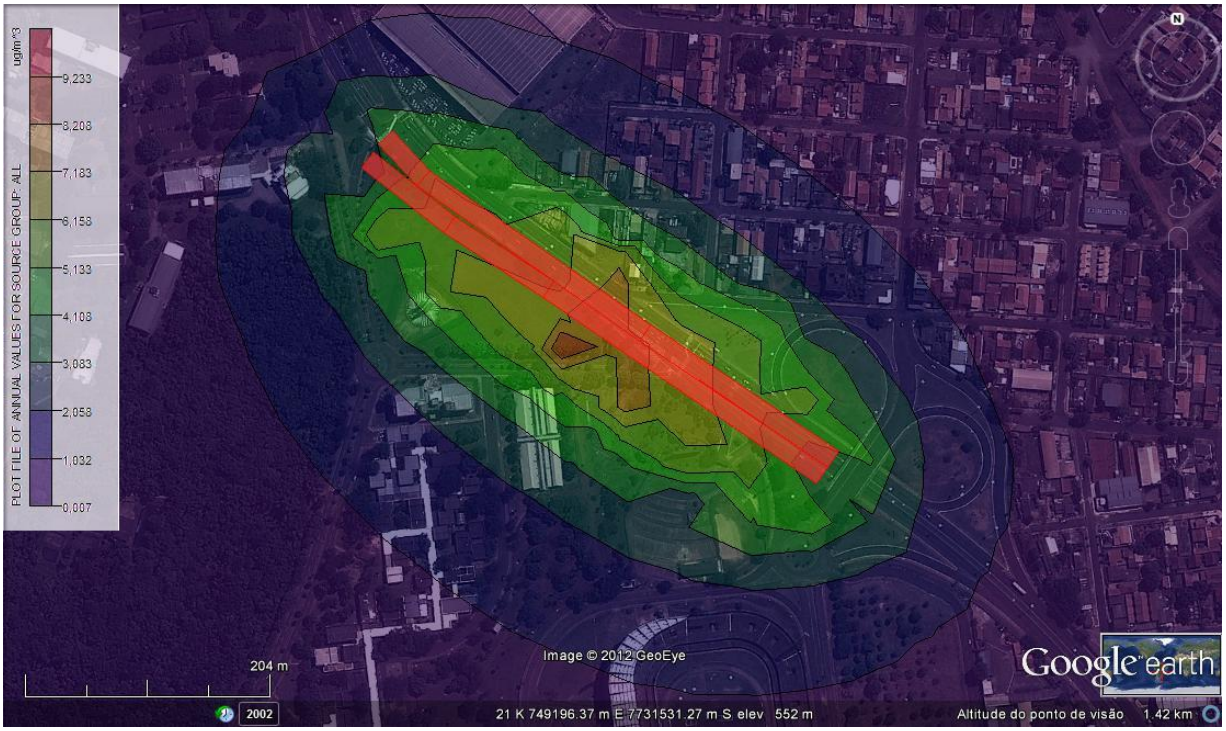


Figura 5.18: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima anual para MP. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

O poluente NO_x apresenta uma concentração máxima de 4.642 μg/m^3 para a categoria veículo de passageiro, valor este 14 vezes acima dos padrões da legislação (340 μg/m^3 e 190 μg/m^3). A dispersão deste poluente é apresentada na Figura 5.19.

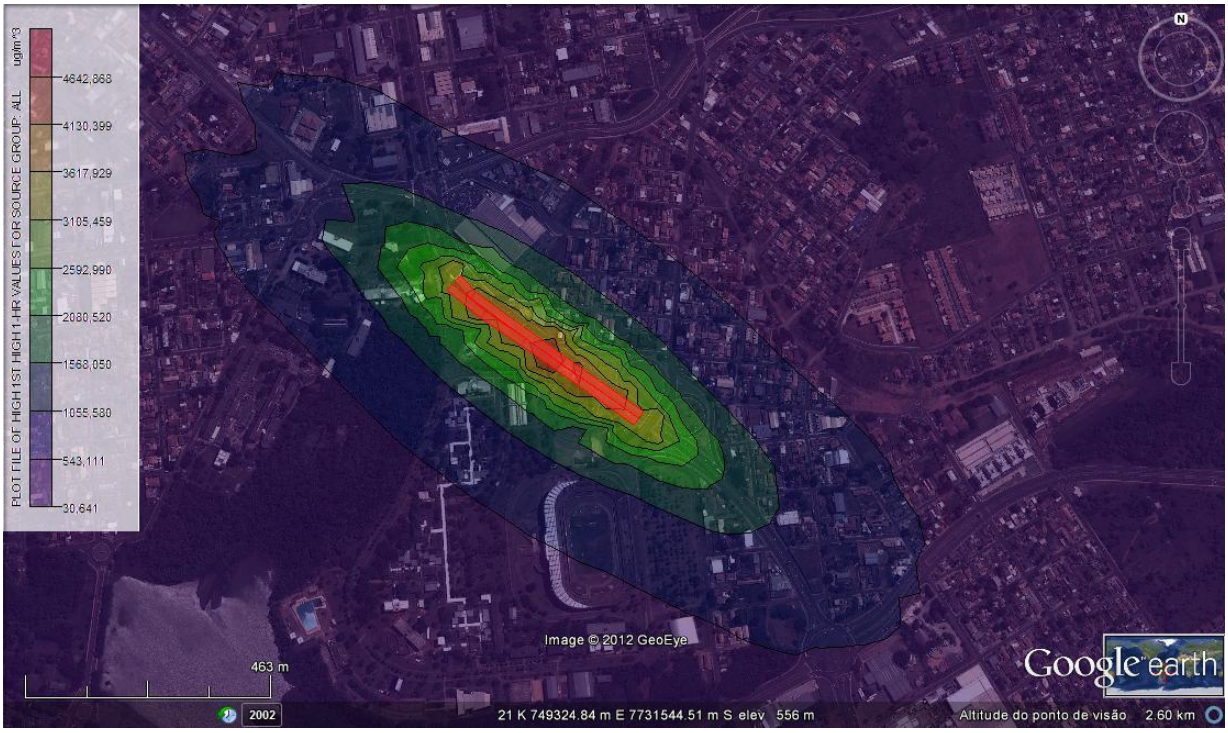


Figura 5.19: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima em 01 hora para NO_x. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

5.3.2. Motocicletas

Durante uma hora circularam uma média 918 motocicletas na Avenida Costa e Silva. Este número de veículos gerou para o CO uma concentração máxima horária de 58.870 $\mu g/m^3$, valor este maior que os padrões primários e secundários de qualidade do ar para este poluente (40.000 $\mu g/m^3$). A Figura 5.20 mostra a dispersão para o CO gerada pelo modelo AERMOD.

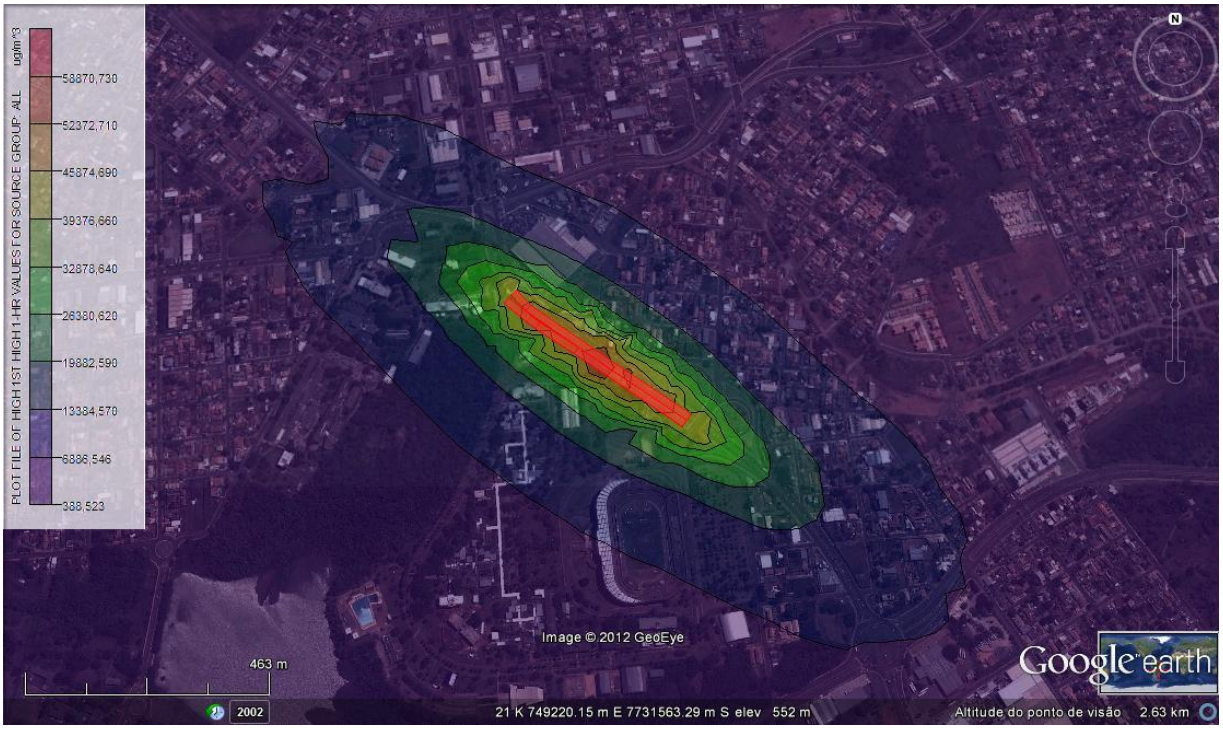


Figura 5.20: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima em 1 hora para CO. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

Em relação ao poluente MP, a concentração máxima em 24 horas foi de 58 $\mu g/m^3$, valor este abaixo dos padrões de qualidade do ar da legislação brasileira que é de 240 $\mu g/m^3$ para padrão primário e 150 $\mu g/m^3$ para o padrão secundário. A forma de dispersão é mostrada na Figura 5.21.

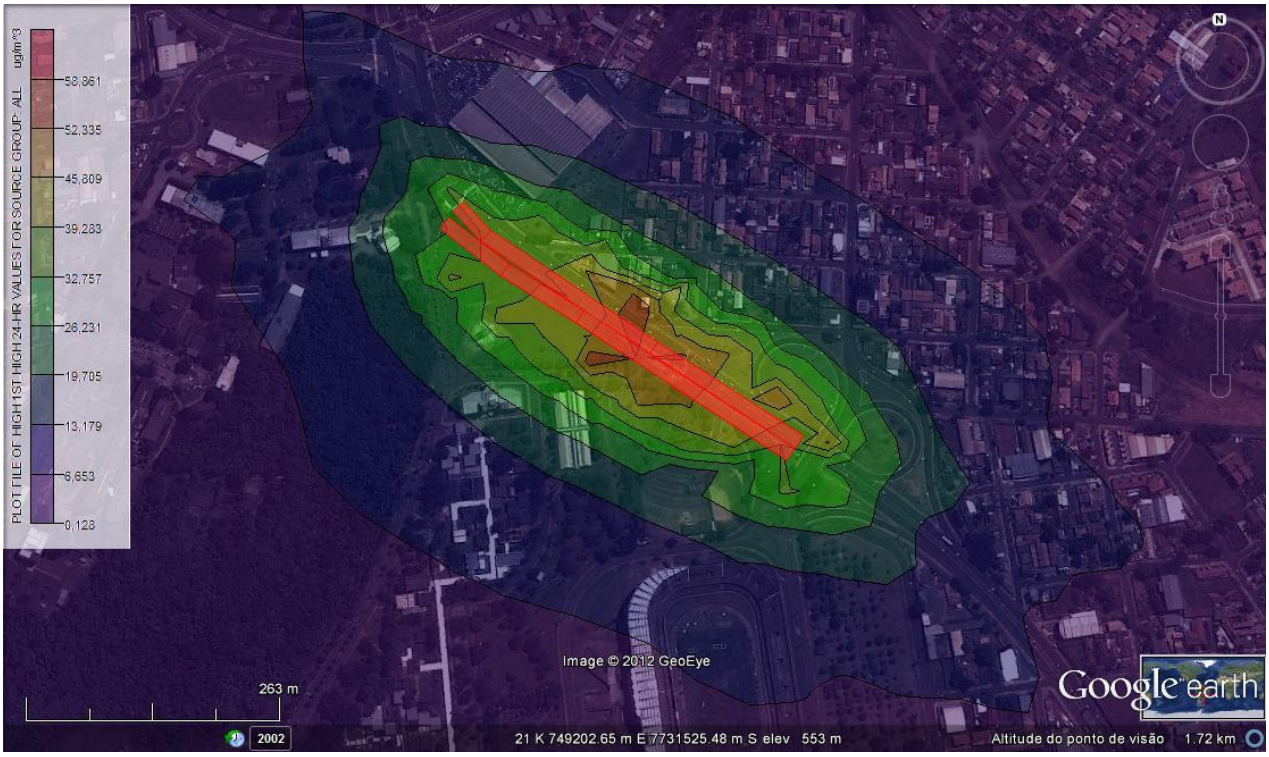


Figura 5.21: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima em 24 horas para o MP. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); *Google Earth* (2012).

A pluma se dispersa em torno de 800 m das vias para o sentido sudoeste, atingindo a universidade, chegando com uma concentração em torno de 45 μg/m^3.

Para este último poluente a concentração máxima anual foi de 10 μg/m^3, como mostra a Figura 5.22. Esta concentração está abaixo dos padrões primário e secundário (50 μg/m^3).

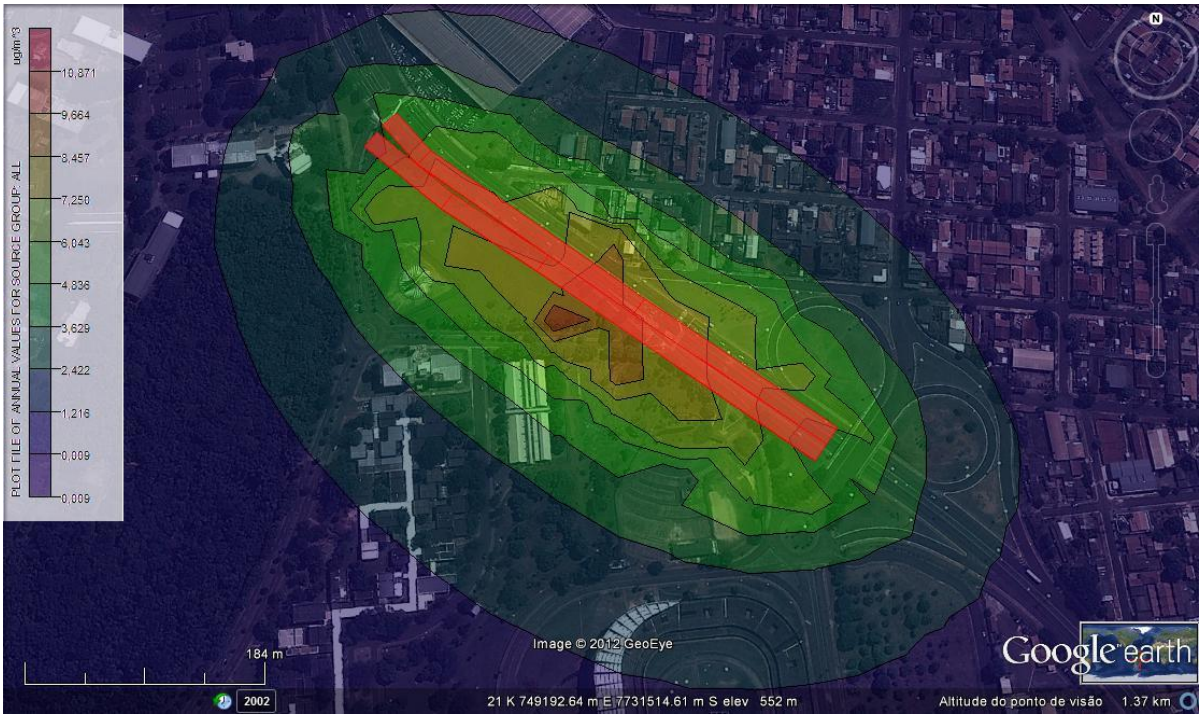


Figura 5.22: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima anual do poluente MP. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

A concentração máxima em uma hora para o NO_x poluente, nesta categoria foi de 4.819 $\mu g/m^3$, valor este muito acima do padrão primário da legislação que é de 320 $\mu g/m^3$ e para o padrão secundário de 190 $\mu g/m^3$. A dispersão deste é apresentada na Figura 5.23.

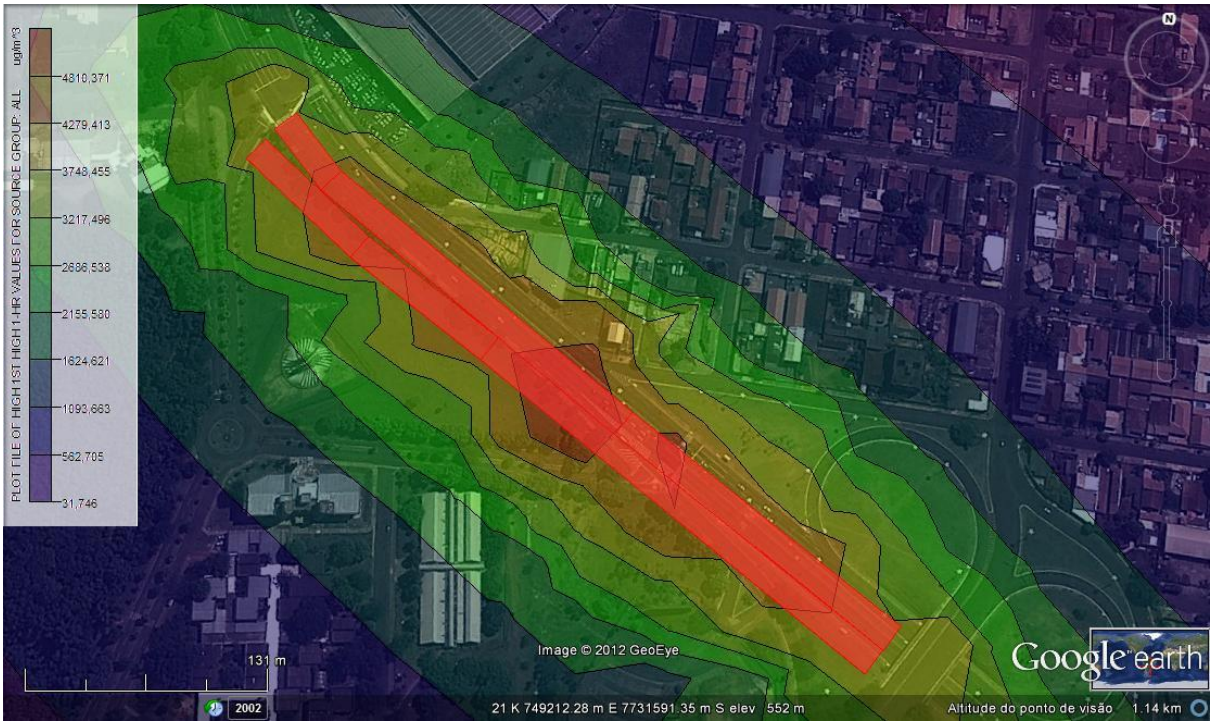


Figura 5.23: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima horária do poluente NO_x. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

A concentração anual máxima de NO_x para esta categoria foi de 217 $\mu g/m^3$, valor acima dos padrões de qualidade do ar que é de 100 $\mu g/m^3$ para o padrão primário e secundário segundo a Resolução CONAMA 3/1990.

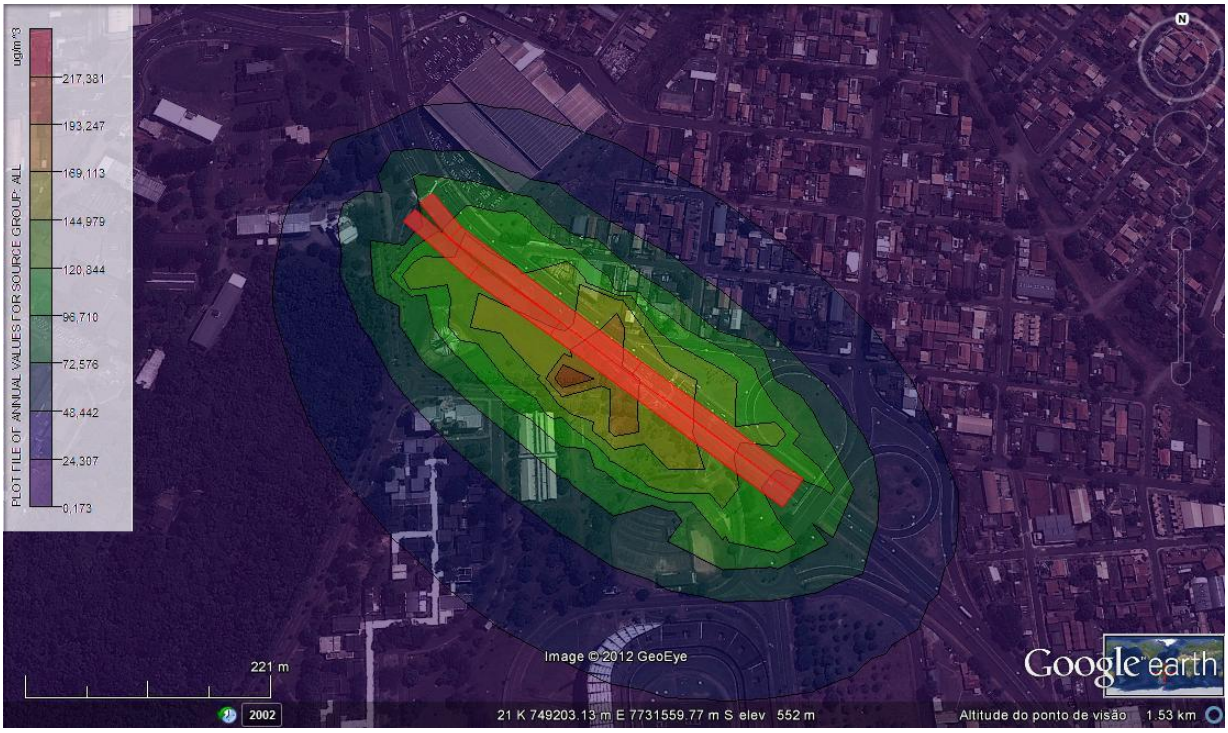


Figura 5.24: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima Anual do Poluente NO_x para Motocicletas. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

5.3.3. Caminhões Pesados

Passaram pela Avenida Costa e Silva em média de 47 caminhões por hora. A concentração máxima de monóxido de carbono em uma hora foi de 3.550 $\mu g/m^3$, valor este abaixo dos padrões primários e secundários de qualidade do ar. A dispersão deste poluente pode ser observada na Figura 5.25. Este resultado era esperado devido ao tamanho da frota.

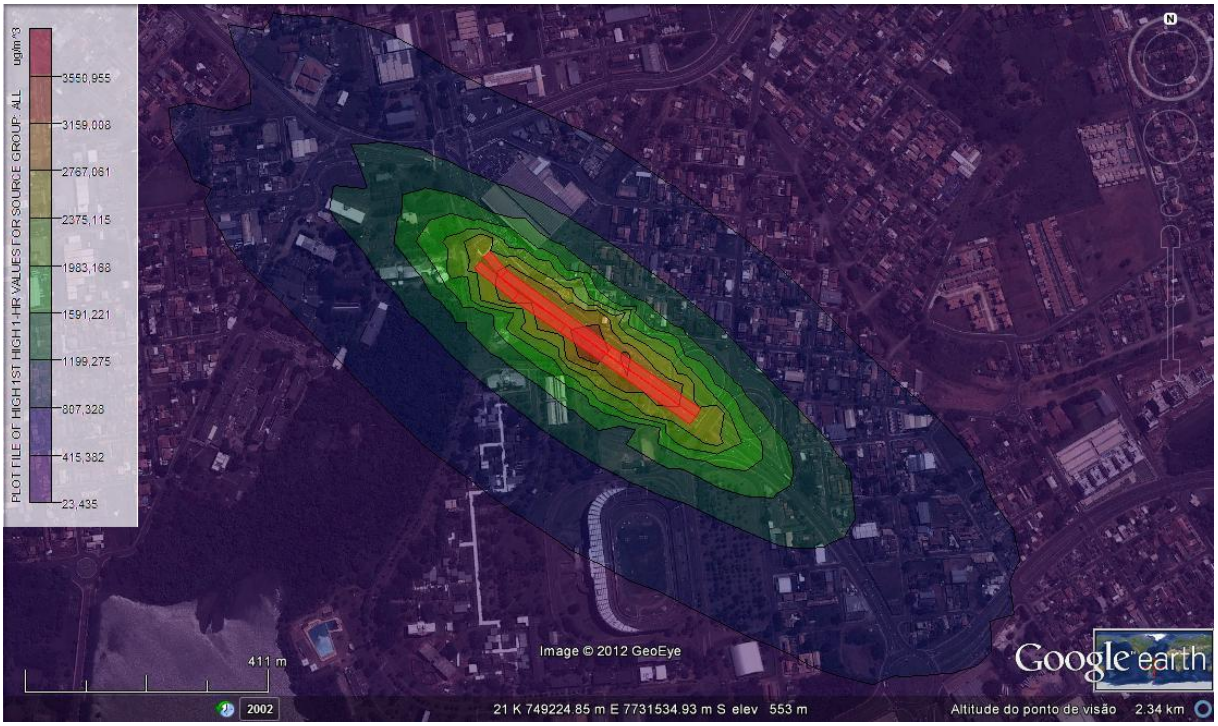


Figura 5.25: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima horária para CO. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

A concentração máxima de MP para a categoria de caminhão pesado em 24 horas teve um valor de 81 $\mu g/m^3$, estando dentro dos padrões de qualidade do ar que é de 240 $\mu g/m^3$ para o padrão primário e de 150 $\mu g/m^3$ para o padrão secundário. A dispersão deste poluente pode ser observada na Figura 5.26.

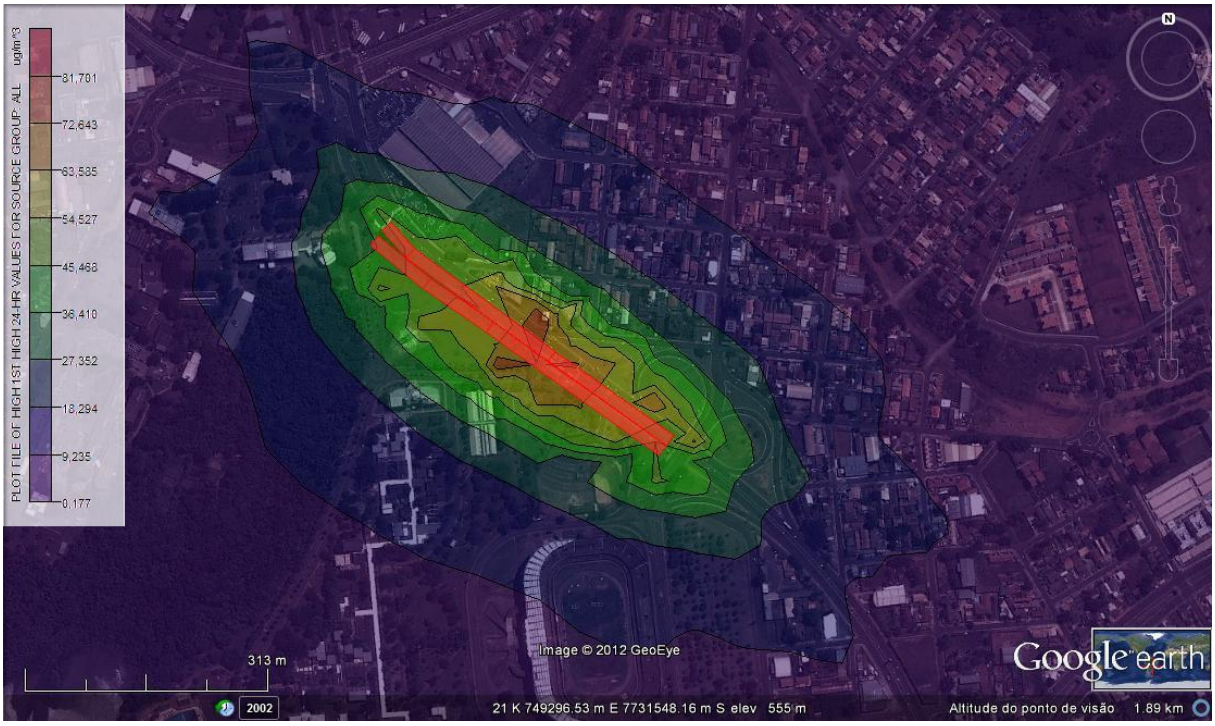


Figura 5.26: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima em 24 horas do poluente MP. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

A dispersão anual do poluente MP pode ser observada na Figura 5.27. Este poluente apresentou uma concentração máxima de 15 $\mu g/m^3$, valor abaixo dos padrões de qualidade do ar.

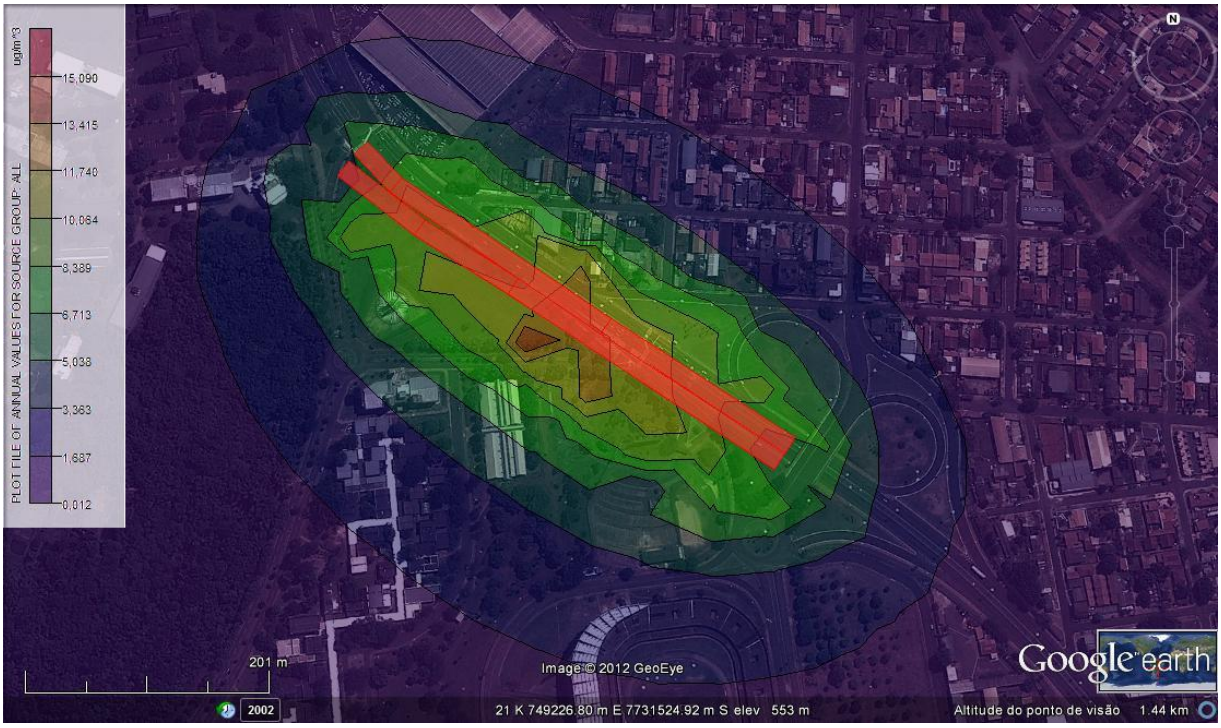


Figura 5.27: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima Anual do Poluente MP. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

Para o poluente NO_x teve-se como resultado uma concentração máxima em uma hora o valor de 668 $\mu g/m^3$, este valor é quase 3 vezes maior que o padrão primário de qualidade do ar (320 $\mu g/m^3$). A dispersão deste poluente pode ser observada na Figura 5.28. A dispersão do NO_x é praticamente homogênea.

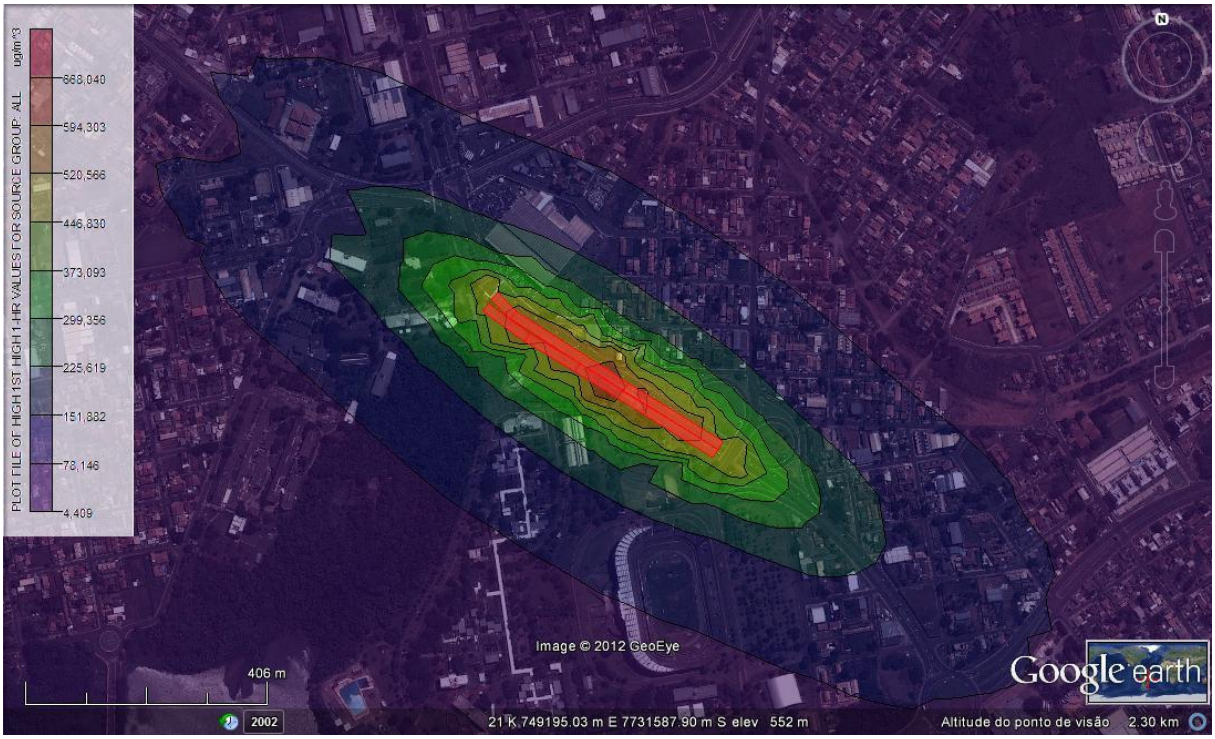


Figura 5.28: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima em 1 hora para o NO_x. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

A máxima concentração anual do NO_x foi 30 $\mu g/m^3$, valor inferior aos padrões de qualidade do ar. A dispersão deste poluente pode ser observada na Figura 5.29. A pluma tende a dispersar-se para a direção sudoeste.

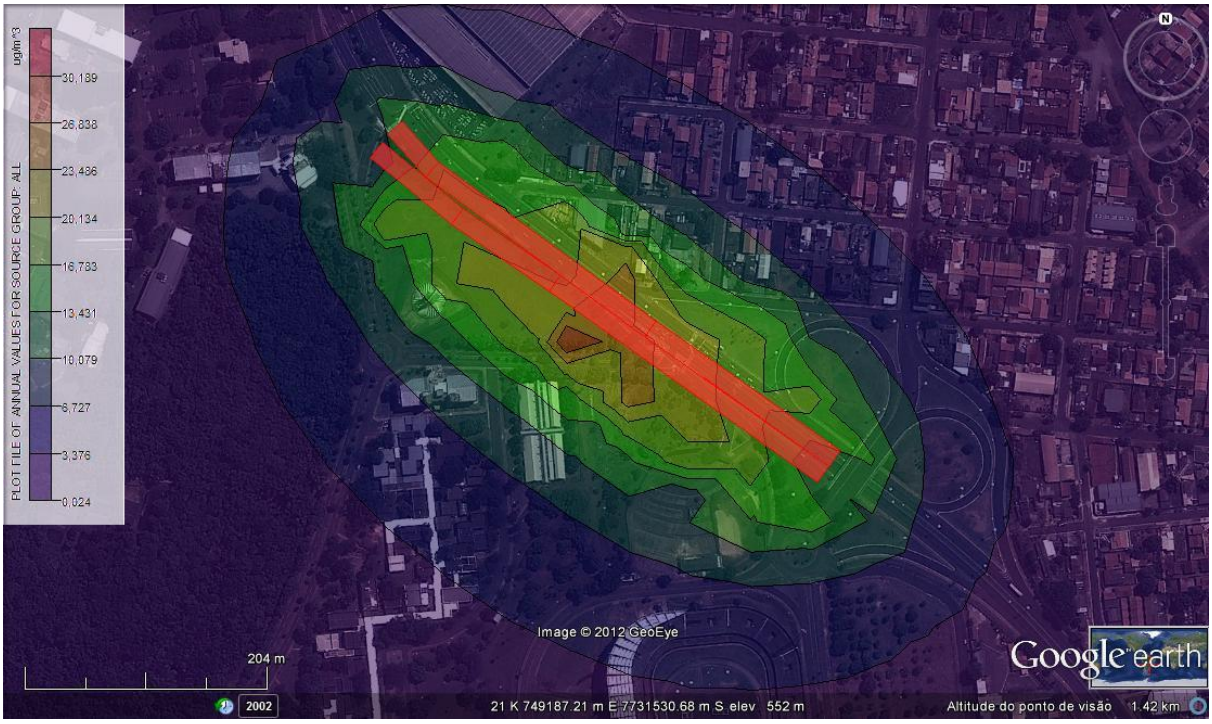


Figura 5.29: Simulação da Dispersão da Concentração Máxima Anual do Poluente NO_x,. Fonte: AERMOD *View* 7.1.0 (2012); Google *Earth* (2012).

Todas as simulações de dispersão tem uma forma semelhantes, tendendo sua dispersão para a direção sul e sudoeste do trecho em estudo.

5.3.4. Meteorologia

A seguir é apresentado a rosa dos ventos (Figura 5.30), obtida através do programa AERMET, com os dados meteorológicos de 2003 a 2010. A rosa mostra os ventos soprando predominantemente para a direção sul e sudoeste do trecho em estudo. Neste período de oito anos houve 11% de calmarias (ventos entre 0,5 e 2,1 m/s), o que significa que houve uma boa dispersão dos poluentes.

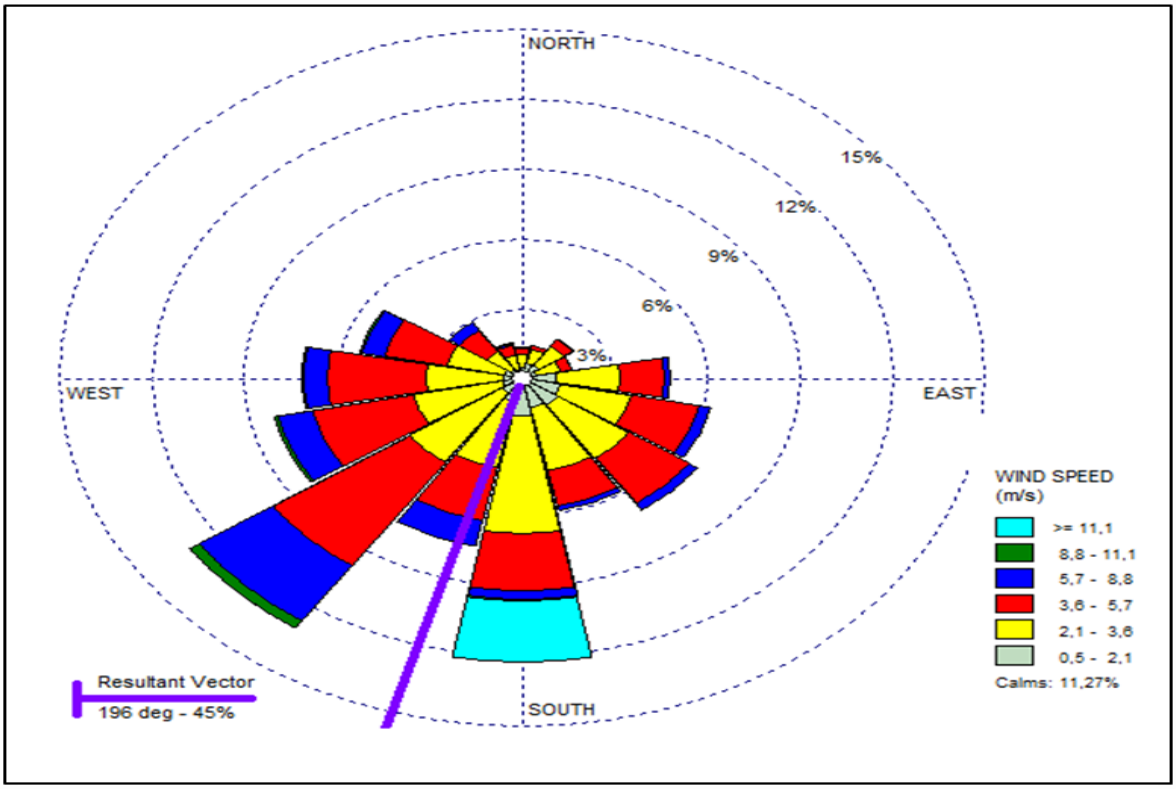


Figura 5.30: Rosa dos Ventos para Dados Meteorológicos de 2003 a 2010. Fonte: AERMET *View* 7.1.0 (2012).

Observou-se que a dispersão dos poluentes simulados pelo AERMOD tendem a dispersar-se na direção dos ventos.

A Figura 5.31 mostra o gráfico de classificação dos ventos com suas respectivas porcentagens. Observa-se predominância nas classes A, B e C (valores apresentados na Tabela 4.5), ou seja, a atmosfera neste período foi instável, facilitando assim a dispersão.

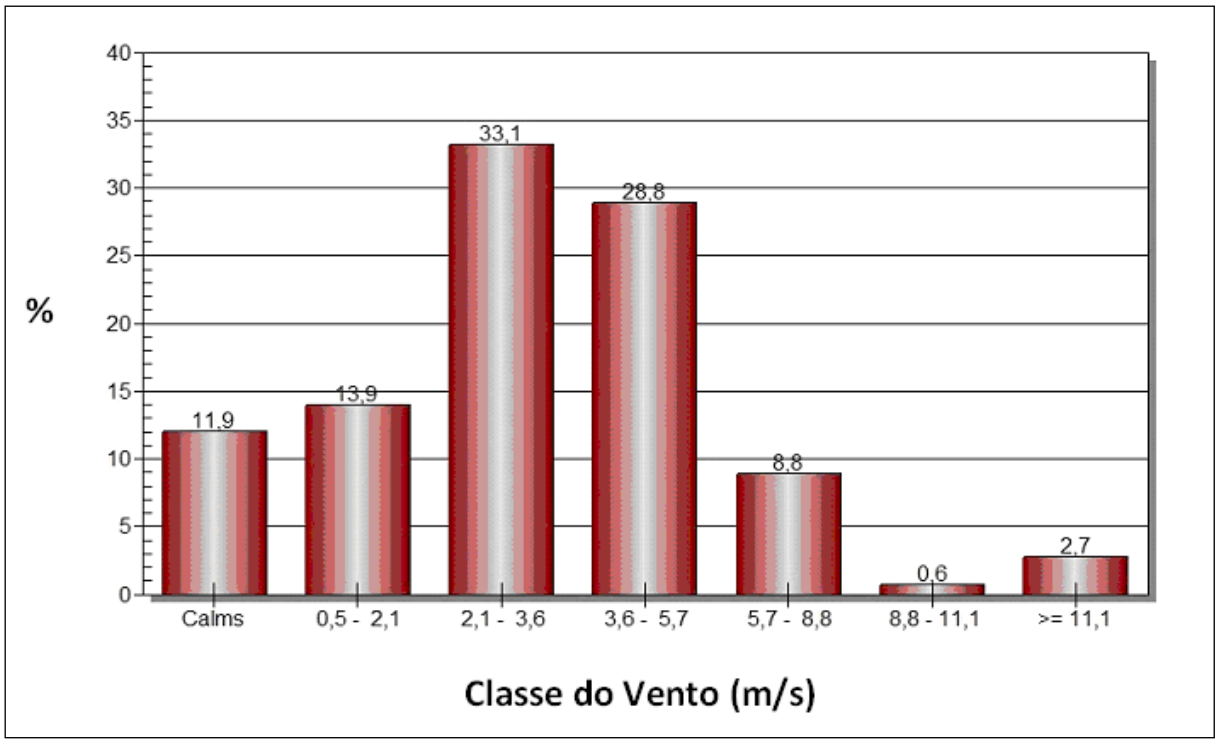


Figura 5.31: Gráfico de Classes de Estabilidade dos Ventos para os Dados Meteorológicos de 2003 a 2010. Fonte: AERMET *View* 7.1.0 (2012).

Neste ano mesmo ano ocorreu uma predominância na turbulência na atmosfera apresentando 34,4% dos ventos com velocidades maiores que 11,1 m/s, isto é mostrado na Figura 5.32.

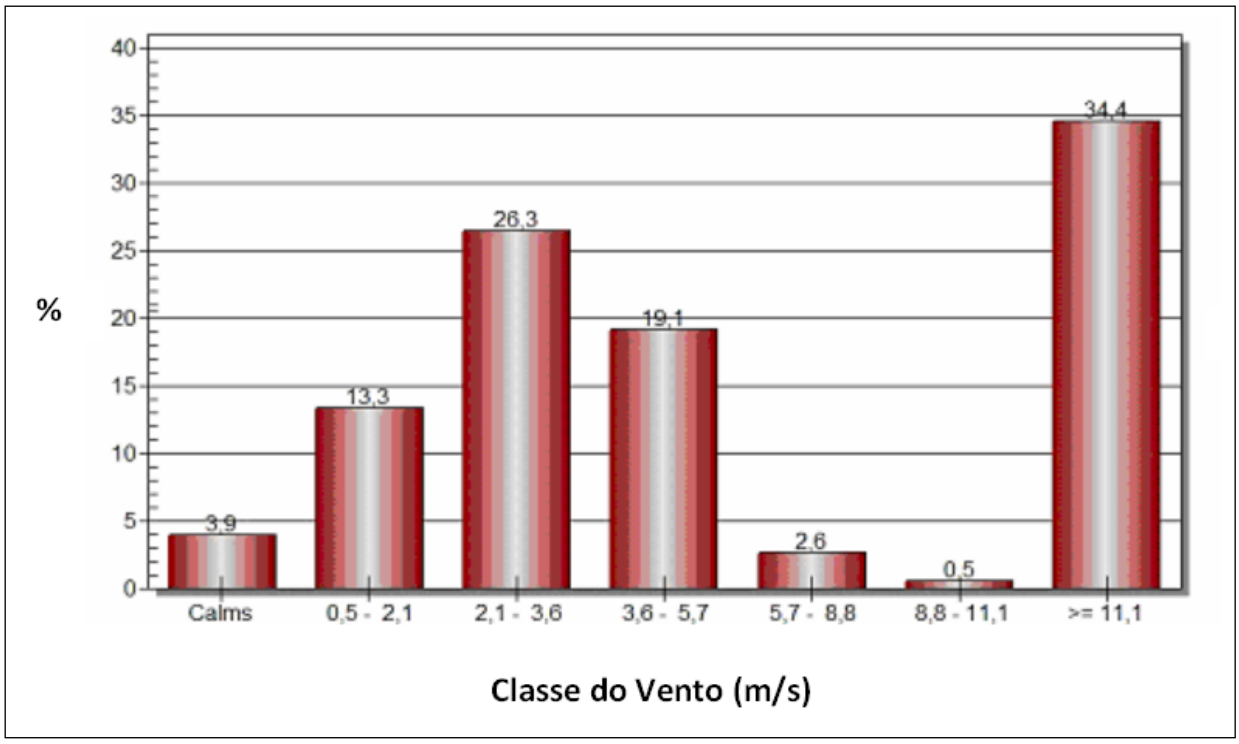


Figura 5.32: Gráfico de Classes de Estabilidade dos Ventos para os Dados Meteorológicos de 2010. Fonte: AERMET *View* 7.1.0 (2012).

A atmosfera de Campo grande apresenta uma boa dispersão no ano de 2010 devido à turbulência predominante, como observado na Figura 5.32.

Observando somente os dados meteorológicos do ano 2010, houve a predominância dos ventos vindos da região norte. A rosa dos ventos para os dados meteorológicos do ano de 2010 é mostrada na Figura 5.33.

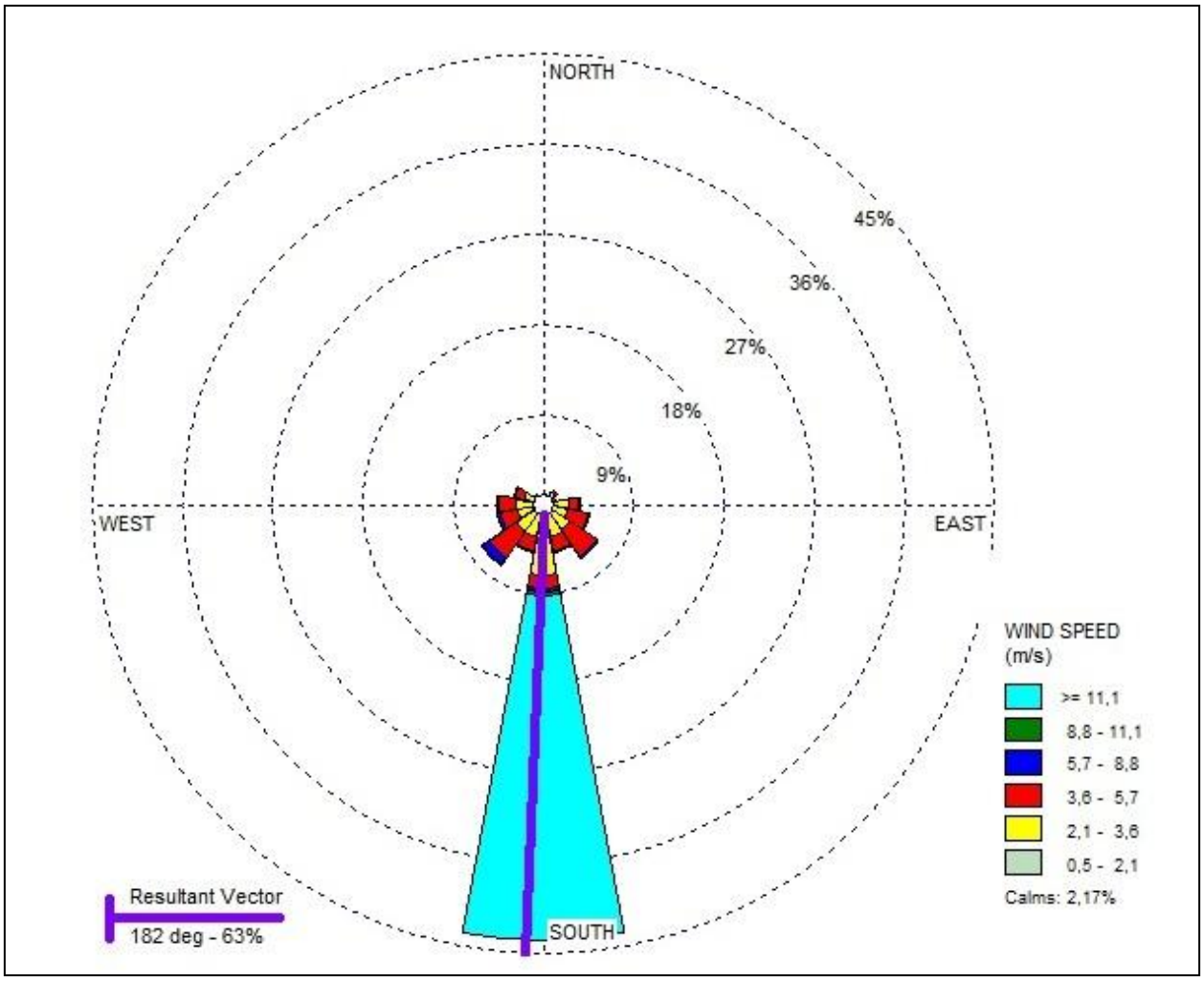


Figura 5.33: Rosa dos Ventos para Dados Meteorológicos do ano de 2010. Fonte: AERMET *View* 7.1.0 (2012).

6. Conclusões e Recomendações

Campo Grande possui uma frota veicular cada vez maior, podendo causar problemas de saúde pública, social e econômica para a cidade.

Através da contagem de veículos realizada neste trabalho observou-se uma grande quantidade de carros com idade superior a dez anos, apresentando (por observação visual) pouca manutenção e veículos emitindo fumaça preta, o que representa um motor desregulado.

O local mais atingido pela poluição atmosférica emitida no trecho estudado da Avenida Costa e Silva é a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, e o início dos bairros Dr. Albuquerque, Jardim América e Jardim Paulista. Deve-se ressaltar que no quadro real há emissões provenientes de todas as ruas e avenidas da cidade com maiores ou menores concentrações de poluentes, o que agrava o caso estudado.

A maior frota é a de veículos a movidos a gasolina, com 65% da frota total geral que circulou em Campo Grande no ano de 2010. O poluente mais emitido pela frota total de veículos automotores é o CO2, chegando a 603.274 toneladas no ano de estudo.

Os resultados mostram que existem pontos com concentrações de poluentes superiores ao limite permitido, podendo extrapolar este quadro para a cidade de Campo Grande, devido ao número de veículos e ruas existentes com as mesmas características do trecho estudado. Portanto, é necessária a realização de um monitoramento contínuo da qualidade do ar. Os poluentes que provavelmente estão ultrapassando os limites máximos são o CO e NO_x principalmente por veículos leves e motocicletas. O poluente NO_x teve as maiores concentrações para as categorias motocicleta e veículo de passeio, estando nos dois casos, acima dos padrões de qualidade do ar.

Os veículos movidos a gasolina são os principais contribuintes para a poluição do ar em Campo Grande, devido ao número crescente dos mesmos e a frota com idade maior que 10 anos. As motocicletas também são grandes contribuintes para o quadro de poluição.

Os dados meteorológicos apresentam boa dispersão dos poluentes, porém ainda assim os poluentes NO_x e CO ultrapassam os padrões de qualidade do ar.

Através da realização de futuros inventários das emissões de fontes fixas e móveis será possível comparar a as contribuições quantitativa e qualitativamente, uma vez que poderá abranger todas as fontes existente na cidade, como hospitais (caldeiras), indústrias, veículos e queimadas, sendo possível uma futura ampliação deste para o estado.

Devem ser tomadas algumas ações para a diminuição da poluição atmosférica tais como:

- Estabelecimento de limites de emissões voluntárias e compulsórias para as emissões veiculares na cidade, principalmente de empresas;
- Estabelecimento de limite de venda, fabricação e entrada de veículos nas cidades;
- Reduzir o uso de veículos automotores individuais e;
- Incentivos de uso de transportes mais limpos, assim como melhoria do transporte coletivo e linhas de trem.

Pode-se fazer uma previsão de que a partir deste ano, dias com pouca dispersão apresentarão altas concentrações de poluentes devido aos veículos automotores, similares às condições anteriormente vistas no período de grandes queimadas no estado.

Outros estudos devem ser realizados no município e no estado sobre a qualidade do ar, bem como estudos que mostrem a relação de episódios de poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardíacas na população.

7. Referências Bibliográficas

ÁLVARES JR. et al. **Emissões Atmosféricas**. Brasília: SENAI/DN, 2002.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – BRASIL (ANFAVEA). Registro: 50 anos e Outros Números. In: **50 anos da Indústria Automobilística Brasileira.** 2006. Disponível em:< http://www.anfavea.com.br/50anos.html>. Acesso em: 30/10/2011.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – BRASIL (ANFAVEA). ***Brazil Automotive Guide***. 2010. Guia Setorial da Indústria Automotiva Brasileira. <http://www.anfavea.com.br/automotiveguide2010/indice.pdf>. Acesso em: 30/10/2011.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – BRASIL (ANFAVEA). **Carta da ANFAVEA**. Nº 305 Resultados de janeiro-setembro. 2011. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/carta.html>. Acesso em: 30/10/2011.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – BRASIL (ANFAVEA). **Estatísticas**. Disponível em : <http://www.anfavea.com.br/Tabelas.html>. Acesso em 22/01/2012

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – BRASIL (ANFAVEA). **Seminários sobre Emissões de Veículos Diesel**. 2009. PROCONVE: As Fases Passadas e Futuras. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/seminario.html>.Acesso em: 27/10/2011.

ASSUNÇÃO, J. V. Capítulo 4: Controle Ambiental do Ar. In: PHILIPPI JR, A., ROMÉRO, M. A. e BRUNA, G. C. (Ed.) **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri: Manole, 2004.

ASSUNÇÃO, J. V., MALHEIROS, T. F. Capítulo 6: Poluição Atmosférica. In: PHILIPPI Jr, A., PELICIONE, M. C. F.(Ed.) **Educação Ambiental e Sustentabilidade**. Barueri: Manole, 2005.

BARBON, A; Gomes, J. **Simulação das Emissões Atmosféricas sobre o Município de Araucária com o Uso do Modelo AERMOD**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (REA), v.15 n. 2. abr/jun 2010, pP 129-140.

BATES, D.V. Chapter 1: Introduction. Inn: Holgate, S. T., Samet, J. M., Koren, H.S. and Maynard R.L. (Ed.) ***Air Pollution and Health***. Academic Press, 1999.

BOUBEL, R. W. et al. ***Fundamentals of Air Pollution*****.** 3 ed. Academic Press, 1994.

BRENA, N. A. **A Chuva Ácida e seus Efeitos sobre as Florestas**, 2 Ed. São Paulo, 2009.

BRAGA, B. *et. al*, **Introdução à Engenharia Ambiental**, 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Casa Civil. **Constituição da República Federativa do Brasil, 1988.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constitui%C3%A7ao.htm>. Acesso em: 28/10/2010.

BRUGEE, D. B., DURANT, J. L., RIOUX, C. Near-highway Pollutants in Motor Vehicles Exhaust: a Review of Epidemiologic Evidence of Cardiac and Pulmonary Health Risks. Environmental Health, 6:23. 2007. Disponível em: <http://www.ehjournal.net/contents/6/1/23. Acesso em 06/03/2011

CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (CEPA). Course 190: ***Air Academy Online Training***. Disponível em: <http://www.arb.ca.gov/training/courses.htm>. Acesso em: 10/08/2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**, 2010: Série de Relatórios. São Paulo: CETESB, 2011.

CARVALHO Jr., J. A., LACAVA, P. T., **Emissões em Processos de Combustão**. São Paulo: Editora UNESP, 2003.

CARVALHO-OLIVEIRA, R. *et al.* ***Diesel Emissions significantly influence composition and mutagenicity of ambient particles: a case study in São Paulo, Brazil.*** Environmental Research 98 (2005) 1-7.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1999

COLLS, J. ***Air Pollution***, 2 Ed., Taylor & Francis e-Library, 2002.

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DE MATO GROSSO DO SUL (DETRAN). Estatística de veículos - **Estatística de Veículos Regulares Cadastrados No Sistema RENAVAM**. Dezembro de 2010. Disponível em: <http://www.detran.ms.gov.br/institucional/114/estatistica> Acesso em 01/12/2011.

DERÍSIO, J. C., **Introdução ao Controle da Poluição Ambiental**. 2 ed. São Paulo: Editora Signus, 2000.

FOLINSBEE, L. J. ***Human Health Effects of Air Pollution***. Environmental Health Perspectives. Vol 100, 45-56, 1992.

HANNA S.R. *et al*. ***Evaluation of the ADMS, AERMOD, and ISC3 Dispersion Models with the OPTEX, Duke Forest, Kincaid, Indianapolis, and Lovett Field Data Sets***. International Journal of Environment and Pollution - v. 16, n.1/2/3/4/5/6 2001, p 301-314.

HARRISON, R. M. (Ed.) ***Pollution: Causes, Effects and Control***, 4 Ed. UK: Royal Society of Chemistry, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS RENOVÁVEIS (IBAMA) **Programas de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores Vol. I/II PROCONVE/PROMOT**. 2 Ed. Brasília: IBAMA, 2004. Disponível em <*servicos.ibama.gov.br/cogeq/download.php?id_download=9*> Acesso em 09/09/2010.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Publications*:* ***Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.*** Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>. Acesso em 30/10/2011.

LEMOS, J. F. **Poluição Veicular: avaliação dos impactos e benefícios ambientais com a renovação da frota veicular na cidade de São Paulo**, São Paulo, 2010. 133p. Tese (Mestrado em energia) - Universidade de São Paulo

LORA, E.E.S. **Prevenção e Controle da poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**. 2ed. Rio de Janeiro: Intersiência, 2000.

MANAHAN, S. E. ***Environmental Science and Technology: a Sustainable Approach to Green Science and Technology***. 2 Ed. Taylor & Francis Group, 2007.

McGREGOR, G. R., Chapter 3: Basic Meteorology. In: Holgate, S. T., Samet, J. M., Koren, H.S. and Maynard R.L. (Ed.) ***Air Pollution and Health***. Academic Press, 1999.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Lei 6938 de 31/08/1981 **"Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação,**

e dá outras providências" - Data da legislação: 31/08/1981 - Publicação DOU, de 02/09/1981 Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>. Acesso em 15/07/2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Relatório Final**. Brasil, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA).Resolução CONAMA 415 de 24/09/2009. **"Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências."** Publicação DOU nº 184, de 25/09/2009, págs. 53-54, Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=615> Acesso em 10/07/2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Resolução CONAMA 18 de 6/05/1986. **"Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE"** Publicação D.O.U de 17/6/86. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res1886.html> Acesso em 10/07/2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Resolução CONAMA 15 de 13/12/1995. **"Estabelece nova classificação de veículos automotores, para o controle de emissão veicular de gases, material particulado e evaporativa, considerando os veículos importados".** Publicação D.O.U de 29/12/1995. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res95/res1595.html> Acesso em: 10/07/2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Resolução CONAMA 03 de 28/06/1990. **"Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR".** Publicação DOU, de 22/08/1990, págs. 15937-15939. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100> Acesso em 10/07/2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME): **Balanço Energético Nacional 2011**: Ano base 2010 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2011. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2011.aspx >acesso em 03/11/2011.

MOREIRA, T. Frota brasileira de veículos mais que dobrou nos últimos 10 anos. ***Motor Dream***, Brasil, 02/03/2012, Disponível em: <http://motordream.uol.com.br/noticias/ver/2012/03/02/frota-brasileira-de-veiculos-mais-que-dobrou-nos-ultimos-10-anos>, Acesso em 16/03/2012.

PAINE R.J. et al. ***Model Evaluation Results for AERMOD***. EPA, RTP. NC 27711 (1998). Disponível em < http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm>. Acesso em 08/04/2010.

PERKINS, H. C. ***Air Pollution***. *International Student Edition*. 1974.

PINHEIRO, P. C., VALLE, R. M. Controle de Combustão: Otimização do Excesso de ar. In: **II Congresso de Equipamentos e Automação da Indústria Química e Petroquímica**, 09-11 Agosto 1995, Rio de Janeiro/RJ, Anais. Automação Industrial, São Paulo: ABIQUIM, Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados, 1995, p157-162. Disponível em: <http://www.demec.ufmg.br/professor/paulocpinheiro/papers/excesso.pdf>. Acesso em 20/04/2012.

PHILIPPI JR, A., MALHEIROS, T. F. Capítulo 12: Controle da Qualidade do Ar. In: PHILIPPI JR, A. (Ed.) **Saneamento, Saúde e Ambiente**: Fundamentos para um desenvolvimento Sustentável. Barueri: Manole, 2005.

RIBEIRO, H., ASSUNÇÃO, J.V. **Efeitos das Queimadas na Saúde Humana**. Estudos Avançados 16 (44), 125-148, 2002.

SEINFELD, J. H., PANDIS, S. N., ***Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change***. 2 ed. New Jersey: Wiley, 2006.

SEINFELD, J. H., ***Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution***. New Jersey: Wiley, 1986.

SCHVARTSMAN, S.Capítulo 51 :**Pulmão e Tóxicos In: Doenças Pulmonares em Pediatria - Diagnóstico e Tratamento.** Editora Atheneu Ltda, 2007. Disponível em: <http://portaldapesquisa.com.br/databases/sites?search=polui%E7%E3o+atmosf%E9rica&cust=capes&action=booktoc&lastaction=simplificada&pub=atheneu&db=atheneu180&ri=4&rf=4&book_id=85-7379-132-2&chapter=51#51>. Acesso em: 31/10/2012.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA*a*). **The Particle Pollution Report: Current Understanding of Air Quality and Emissions through 2003**. December 2004. Disponível em:< http://www.nfpa.org/assets/files/PDF/CodesStandards/HCGPM25Report01-05.pdf> Acesso em: Acesso em 20 agosto de 2010.

TEIXEIRA et al**., Estudo das Emissões de Fontes Móveis da Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul**. Revista Química Nova, Vol. 31, n. 2, 244-248, 2008.

UEDA, A. C., TOMAZ, E. **Inventário de Emissão de Fontes Veiculares da Região Metropolitana de Campinas, São Paulo**. Revista Química Nova, Vol. XY, n. 00, 1-5, 2011.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA*b*). ***AERMOD: Description of Model Formulation***. EPA-454/R-03-004, North Carolina, 2004.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA*c*). ***Basic Air Pollution Meteorology - Self Instructional Manual***. APTI Course SI: 409 (2005). Disponível em <www.epa.gov/apti> Acesso em 08/04/2010.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA*d*), SI:300: ***Introduction to Air Pollution Toxicology.*** Disponível em : <http://yosemite.epa.gov/oaqps/eogtrain.nsf/DisplayView/SI_300_0-5?OpenDocument >. Acesso em: 25/08/2010.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA*e*). ***Preferrencial Models*.** Disponível em < http://www.epa.gov/scram001/dispersion_prefrec.htm> Acesso em 20/08/2010.

ANEXO A

Resoluções CONAMA sobre Qualidade do Ar e Veículos Automotores

Resolução	Data	Descrição
N.º 010/1984	26/09/1984	"Dispõe sobre medidas destinadas ao controle da Poluição causada por Veículos Automotores" - Finalidade Cumprida.
Nº 018/1986 -	06/05/1986	"Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE"- Alterada pelas Resoluções nº 15, de 1995, nº 315, de 2002, e nº 414, de 2009..
N.º 004/1988	15/06/1988	"Dispõe sobre prazos para controle de emissão de gazes do cárter de veículos do ciclo diesel". - Revogada pela Resolução nº 08, de 1993.
N.º 003/1989	15/06/1989	"Dispõe sobre níveis de Emissão de aldeídos no gás e escapamento de veículos automotores". - Alterada pela Resolução nº 15, de 1995.
N.º 004/1989	15/06/1989	"Dispõe sobre níveis de Emissão de Hidrocarbonetos por veículos com motor a álcool".
Nº 005/1989	15/06/1989	"Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR" - Complementada pela Resolução nº 436, de 2011.
N.º 010/1989	18/12/1989	"Dispõe sobre Mecanismos de Controle de Emissão de Gases de Escapamento por Veículos com Motor ciclo Otto" - Revogada pela Resolução nº 08, de 1993.
N.º 003/1990	28/06/1990	"Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR".
N.º 008/1990	06/12/1990	- "Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR".
N.º 001/1993	11/02/1993	- "Estabelece, para veículos automotores nacionais e importados, exceto motocicletas, motonetas, triciclos, ciclomotores, bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados, nacionais e importados, limites máximos de ruído com o veículo em aceleração e na condição parado" - Alterada pelas Resoluções nº 08, de 1993, nº 17, de 1995, e nº 272, de 2000.
N.º 002/1993	11/02/1993	"Estabelece, para motocicletas, motonetas, triciclos, ciclomotores, bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados, nacionais e importados, limites máximos de ruído com o veículo em aceleração e na condição parado".- Alterada pela Resolução nº 268, de 2000.

ANEXO A - Continuação

Resolução	Data	Descrição
Nº 006/1993	31/08/1993	"Estabelece prazo para os fabricantes e empresas de importação de veículos automotores disporem de procedimentos e infra-estrutura para a divulgação sistemática, ao público em geral, das recomendações e especificações de calibração, regulagem e manutenção do motor, dos sistemas de alimentação de combustível, de ignição, de carga elétrica, de partida, de arrefecimento, de escapamento e, sempre que aplicável, dos componentes de sistemas de controle de emissão de gases, partículas e ruído".
N.º 007/1993	31/08/1993	"Define as diretrizes básicas e padrões de emissão para o estabelecimento de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M". - Alterada pela Resolução nº 227, de 1997. - Revogada pela Resolução nº 418, de 2009.
N.º 016/1993	17/12/1993	"Ratifica os limites de emissão, os prazos e demais exigências contidas na Resolução CONAMA nº 018/86, que institui o Programa Nacional de Controle da Poluição por Veículos Automotores - PROCONVE, complementada pelas Resoluções CONAMA nº 03/89, nº 004/89, nº 06/93, nº 07/93, nº 008/93 e pela Portaria IBAMA nº 1.937/90; torna obrigatório o licenciamento ambiental junto ao IBAMA para as especificações, fabricação, comercialização e distribuição de novos combustíveis e sua formulação final para uso em todo o país".
Nº 009/1994	04/10/1994	"Estabelece prazo para os fabricantes de veículos automotores leves e equipados com motor a álcool declararem ao IBAMA e aos órgãos ambientais técnicos designados os valores típicos de emissão de hidrocarbonetos, diferenciando os aldeídos e os álcoois, em todas as suas conFigurações de produção".
Nº 015/1994	29/09/1994	"Vincula a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção para Veículos Automotores em Uso -I/M - à elaboração, pelo órgão ambiental estadual, de Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso - PCPV" - Revogada pela Resolução nº 418, de 2009.
Nº 016/1994	29/09/1994	"Fixa novos prazos para o cumprimento de dispositivos da Resolução CONAMA nº 008/93, que complementa a Resolução nº 018/86, que institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados". - Revogada pela Resolução nº 27, de 1994.

ANEXO A - Continuação

Resolução	Data	Descrição
Nº 027/1994	07/12/1994	"Fixa novos prazos para cumprimento de dispositivos da Resolução CONAMA nº 008/93, que complementa a Resolução nº 018/86, que institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados".
Nº 014/1995	13/12/1995	"Estabelece prazo para os fabricantes de veículos automotores leves de passageiros equipados com motor do ciclo Otto apresentarem ao IBAMA um programa trienal para a execução de ensaios de durabilidade por agrupamento de motores". - Alterada pela Resolução nº 315, de 2002.
Nº 015/1995	13/12/1995	"Estabelece nova classificação de veículos automotores, para o controle de emissão veicular de gases, material particulado e evaporativa, considerando os veículos importados". - Alterada pela Resolução nº 242, de 1998.
Nº 016/1995	13/12/1995	"Complementa a Resolução CONAMA nº 008/93, que complementa a Resolução nº 018/86, que institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados, determinando homologação e certificação de veículos novos do ciclo Diesel quanto ao índice de fumaça em aceleração livre".
Nº 017/1995	13/12/1995	"Ratifica os limites máximos de emissão de ruído por veículos automotores e o cronograma para seu atendimento previsto na Resolução CONAMA nº 008/93 (art. 20), que complementa a Resolução nº 018/86, que institui, em caráter nacional, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados".
Nº 018/1995	13/12/1995	"Determina que a implantação dos Programas de Inspeção e Manutenção para Veículos Automotores em Uso - I/M - somente poderá ser feita após a elaboração de Plano de Controle de Poluição por Veículos em uso - PCPV - em conjunto pelos órgãos ambientais estaduais e municipais". - Revogada pela Resolução nº 418, de 2009.

ANEXO A - Continuação

Resolução	Data	Descrição
Nº 230/1997	22/08/1997	"Proíbe o uso de equipamentos que possam reduzir a eficácia do controle de emissão de ruído e poluentes".
Nº 241/1998	30/06/1998	"Estabelece limites máximos de emissão de poluentes por veículos importados".
Nº 242/1998	30/06/1998	"Estabelece limites máximos de emissão de poluentes"
Nº 251/1999	07/01/1999	"Estabelece critérios, procedimentos e limites máximos de opacidade da emissão de escapamento para avaliação do estado de manutenção dos veículos automotores do ciclo Diesel". - Revogada pela Resolução nº 418, de 2009
Nº 252/1999	07/01/1999	"Estabelece, para os veículos rodoviários automotores, inclusive veículos encarroçados, complementados e modificados, nacionais ou importados, limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso". - Revogada pela Resolução nº 418, de 2009.
Nº 256/1999	30/06/1999	"Estabelece regras e mecanismos para inspeção de veículos quanto às emissões de poluentes e ruídos, regulamentando o Art. 104 do Código Nacional de Trânsito". - Revogada pela Resolução nº 418, de 2009.
Nº 268/2000	14/09/2000	"Método alternativo para monitoramento de ruído de motociclos".
Nº 272/2000	14/09/2000	"Define novos limites máximos de emissão de ruídos por veículos automotores"
Nº 297/2002	26/02/2002	"Estabelece os limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motociclos e veículos similares novos". - Complementada pela Resolução nº 432, de 2011.
Nº 315/2002	29/10/2002	"Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares - PROCONVE".
Nº 342/2003	25/09/2003	"Estabelece novos limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motociclos e veículos similares novos, em observância à Resolução n.º 297, de 26 de fevereiro de 2002, e dá outras providências".
Nº 354/2004	13/12/2004	"Dispõe sobre os requisitos para adoção de sistemas de diagnose de bordo - OBD nos veículos automotores leves objetivando preservar a funcionalidade dos sistemas de controle de emissão".

ANEXO A - Continuação

Resolução	Data	Descrição
Nº 403/2008	11/11/2008	"Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências". - Complementada pela Resolução nº 415, de 2009.
Nº 415/2009	24/09/2009	"Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências." - Altera a Resolução nº 299, de 2001; revoga, a partir de 1º de janeiro de 2013, o §2º do art. 15 da Resolução nº 8, de 1993, e o art. 23 da Resolução nº 315, de 2002; Complementa a Resolução nº 403/2008.
Nº 414/2009	24/09/2009	"Altera a resolução no 18, de 6 de maio de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA e reestrutura a Comissão de Acompanhamento e Avaliação do PROCONVE-CAP, em seus objetivos, competência, composição e funcionamento." - Altera a Resolução nº 18/1986.
Nº 418/2009.	25/11/2009	"Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso". - Alterada pelas Resoluções nº 426, de 2010 e nº 435, de 2011
Nº 426/2010	14/12/2010	"Altera o art. 4º e art. 5º, caput e §1º da Resolução CONAMA nº 418, de 2009, estabelecendo novos prazos para o Plano de Controle da Poluição Veicular e o Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso".
Nº 426/2010	14/12/2010	"Altera o art. 4º e art. 5º, caput e §1º da Resolução CONAMA nº 418, de 2009, estabelecendo novos prazos para o Plano de Controle da Poluição Veicular e o Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso".

ANEXO A - Continuação

Resolução	Data	Descrição
Nº 432/2011	14/07/2011	"Estabelece novas fases de controle de emissões de gases poluentes por ciclomotores, motociclos e veículos similares novos, e dá outras providências" - Complementa a Resolução nº 297, de 2002.
Nº 433/2011	13/07/2011	"Dispõe sobre a inclusão no Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE e estabelece limites máximos de emissão de ruídos para máquinas agrícolas e rodoviárias novas". - Complementa a Resolução nº 297, de 2002.
Nº 435/2011	16/12/2011	" Altera a redação do art. 20 e do art. 33 da Resolução no 418, de 25 de novembro de 2009, alterada pela Resolução no 426, de 14 de dezembro de 2010, e regulamenta a entrada em vigor nos estados e nos municípios dos programas de inspeção e manutenção dos motociclos e veículos similares com motor do ciclo Otto de 4 tempos ".

ANEXO B

Intensidade de Uso dos Veículos (Km/ano)

Anos de uso	Automóveis e Comerciais Leves	Motocicletas	Ônibus urbanos	Ônibus Rodoviários	Caminhões pesados	Caminhões Médios	Caminhões leves
0	10.000	6.000	45.000	125.000	67.500	35.000	8.265
1	19.400	11.600	88.200	245.000	132.300	68.600	16.199
2	18.800	11.200	86.400	240.000	129.300	67.200	15.868
3	18.200	10.800	84.600	235.000	129.600	65.800	15.537
4	17.600	10.400	84.800	230.000	126.900	64.400	15.207
5	17.000	10.000	81.000	225.000	124.200	63.000	14.876
6	16.400	9.600	79.200	220.000	121.500	61.600	14.546
7	15.800	9.200	77.400	215.000	118.800	60.200	14.215
8	15.200	8.800	75.600	210.000	116.100	58.800	13.884
9	14.600	8.400	73.800	205.000	113.400	57.400	13.554
10	14.000	8.000	72.000	200.000	110.700	56.000	13.223
11	13.400	7.600	10.200	195.000	108.000	54.600	12.893
12	12.800	7.200	68.400	190.000	105.300	53.200	12.562
13	12.200	6.800	66.600	185.000	102.600	51.800	12.232
14	11.600	6.400	64.800	180.000	99.900	50.400	11.901
15	11.000	6.000	63.000	175.000	97.200	49.000	11.570
16	10.400	5.600	61.200	170.000	94.500	47.600	11.240
17	9.800	5.200	59.400	165.000	91.800	46.200	10.909
18	9.200	4.800	57.600	160.000	89.100	44.800	10.579
19	8.600	4.400	55.800	155.000	86.400	43.400	10.248
20	8.000	4.000	54.000	150.000	83.700	42.000	10.000
21	7.400	3.600	52.200	145.000	81.000	40.600	10.000
22	6.800	3.200	50.400	140.000	78.300	39.200	10.000
23	6.200	2.800	48.600	135.000	75.600	37.800	10.000
24	5.600	2.400	46.800	130.000	72.900	36.400	10.000
25	5.000	2.000	45.000	125.000	70.200	35.000	10.000
26	4.400	2.000	43.200	120.000	67.500	33.600	10.000
27	3.800	2.000	41.400	115.000	64.800	32.200	10.000
28	3.200	2.000	39.600	110.000	62.100	30.800	10.000
29	2.600	2.000	37.800	105.000	59.400	29.400	10.000
30	2.000	2.000	36.000	100.000	56.700	28.000	10.000

ANEXO B – Continuação

Anos de uso	Automóveis e Comerciais Leves	Motocicletas	Ônibus urbanos	Ônibus Rodoviários	Caminhões pesados	Caminhões Médios	Caminhões leves
31	2.000	2.000	34.200	95.000	54.000	26.600	10.000
32	2.000	2.000	32.400	90.000	51.300	25.200	10.000
33	2.000	2.000	30.600	85.000	48.600	23.800	10.000
34	2.000	2.000	28.800	80.000	45.900	22.400	10.000
35	2.000	2.000	27.000	75.000	43.200	21.000	10.000
36	2.000	2.000	25.200	70.000	40.500	19.600	10.000
37	2.000	2.000	23.400	65.000	37.800	18.200	10.000
38	2.000	2.000	21.600	60.000	35.100	16.800	10.000
39	2.000	2.000	19.800	55.000	32.400	15.400	10.000
40	2.000	2.000	18.000	50.000	29.700	14.000	10.000
41	2.000	2.000	16.200	45.000	27.000	12.600	10.000
42	2.000	2.000	14.400	40.000	24.300	11.200	10.000
43	2.000	2.000	12.600	35.000	21.600	10.000	10.000
44	2.000	2.000	10.800	30.000	18.900	10.000	10.000
45	2.000	2.000	10.000	25.000	16.200	10.000	10.000
46	2.000	2.000	10.000	20.000	13.500	10.000	10.000
47	2.000	2.000	10.000	15.000	10.800	10.000	10.000
48	2.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
49	2.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
50	2.000	2.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

Fonte: MMA, 2011.

ANEXO C

Média da Intensidade de Uso dos Veículos (Km / ano)

Anos de uso	Média para Veículos a Diesel	Média para Ônibus	Média Caminhões Leves e Médios (Diesel)
0	56.153	85.000	21.633
1	110.060	166.600	42.400
2	107.754	163.200	41.534
3	106.107	159.800	40.669
4	104.261	157.400	39.804
5	101.615	153.000	38.938
6	99.369	149.600	38.073
7	97.123	146.200	37.208
8	94.877	142.800	36.342
9	92.631	139.400	35.477
10	90.385	136.000	34.612
11	76.139	102.600	33.747
12	85.892	129.200	32.881
13	83.646	125.800	32.016
14	81.400	122.400	31.151
15	79.154	119.000	30.285
16	76.908	115.600	29.420
17	74.662	112.200	28.555
18	72.416	108.800	27.690
19	70.170	105.400	26.824
20	67.940	102.000	26.000
21	65.760	98.600	25.300
22	63.580	95.200	24.600
23	61.400	91.800	23.900
24	59.220	88.400	23.200
25	57.040	85.000	22.500
26	54.860	81.600	21.800
27	52.680	78.200	21.100
28	50.500	74.800	20.400
29	48.320	71.400	19.700

ANEXO C - Continuação

Anos de uso	Média para Veículos a Diesel	Média para Ônibus	Média Caminhões Leves e Médios (Diesel)
30	46.140	68.000	19.000
31	43.960	64.600	18.300
32	41.780	61.200	17.600
33	39.600	57.800	16.900
34	37.420	54.400	16.200
35	35.240	51.000	15.500
36	33.060	47.600	14.800
37	30.880	44.200	14.100
38	28.700	40.800	13.400
39	26.520	37.400	12.700
40	24.340	34.000	12.000
41	22.160	30.600	11.300
42	19.980	27.200	10.600
43	17.840	23.800	10.000
44	15.940	20.400	10.000
45	14.240	17.500	10.000
46	12.700	15.000	10.000
47	11.160	12.500	10.000
48	10.000	10.000	10.000
49	10.000	10.000	10.000
50	10.000	10.000	10.000

Fonte: Adaptado de MMA, 2011.

ANEXO D

Fatores Médios de Emissão de Veículos Leves Novos

Ano	Combustível	CO (g/Km)	HC (g/Km)	NOx (g/Km)	RCHO (g/Km)	CO_2 (g/Km)	MP (g/Km)
1980-1983	Gasolina C	33,00	3,00	1,40	0,05	ND	0,0024
	Etanol	18,00	1,60	1,00	0,16	ND	
1984-1985	Gasolina C	28,00	2,40	1,60	0,050	ND	0,0024
	Etanol	16,90	1,60	1,20	0,180	ND	
1986-1987	Gasolina C	22,00	2,00	1,90	0,040	ND	0,0024
	Etanol	16,00	1,60	1,80	0,110	ND	
1988	Gasolina C	18,50	1,70	1,80	0,040	ND	0,0024
	Etanol	13,30	1,70	1,40	0,110	ND	
1989	Gasolina C	15,20	1,60	1,60	0,040	ND	0,0024
	Etanol	12,80	1,60	1,10	0,110	ND	
1990	Gasolina C	13,30	1,40	1,40	0,040	ND	0,0024
	Etanol	10,80	1,30	1,20	0,110	ND	
1991	Gasolina C	11,50	1,30	1,30	0,040	ND	0,0024
	Etanol	8,40	1,10	1,00	0,110	ND	
1992	Gasolina C	6,20	0,60	0,60	0,013	ND	0,0024
	Etanol	3,60	0,60	0,50	0,035	ND	
1993	Gasolina C	6,30	0,60	0,80	0,022	ND	0,0024
	Etanol	4,20	0,70	0,60	0,040	ND	

ANEXO D - Continuação

Ano	Combustível	CO (g/Km)	HC (g/Km)	NOx (g/Km)	RCHO (g/Km)	CO_2 (g/Km)	MP (g/Km)
1994	Gasolina C	6,00	0,60	0,70	0,036	ND	0,0024
	Etanol	4,60	0,70	0,70	0,042	ND	
1995	Gasolina C	4,70	0,60	0,60	0,025	ND	0,0024
	Etanol	4,60	0,70	0,70	0,042	ND	
1996	Gasolina C	3,80	0,40	0,50	0,019	ND	0,0024
	Etanol	3,90	0,60	0,70	0,040	ND	
1997	Gasolina C	1,20	0,20	0,30	0,007	ND	0,0011
	Etanol	0,90	0,30	0,30	0,012	ND	
1998	Gasolina C	0,79	0,14	0,23	0,004	ND	0,0011
	Etanol	0,67	0,19	0,24	0,014	ND	
1999	Gasolina C	0,74	0,14	0,23	0,004	ND	0,0011
	Etanol	0,60	0,17	0,22	0,013	ND	
2000	Gasolina C	0,73	0,13	0,21	0,004	ND	0,0011
	Etanol	0,63	0,18	0,21	0,014	ND	
2001	Gasolina C	0,48	0,11	0,14	0,004	ND	0,0011
	Etanol	0,66	0,15	0,08	0,017	ND	
2002	Gasolina C	0,43	0,11	0,12	0,004	198	0,0011
	Etanol	0,74	0,16	0,08	0,017	191	

ANEXO D - Continuação

Ano	Combustível	CO (g/Km)	HC (g/Km)	NOx (g/Km)	RCHO (g/Km)	CO_2 (g/Km)	MP (g/Km)
2003	Gasolina C	0,40	0,11	0,12	0,004	194	0,0011
	Etanol	0,77	0,16	0,09	0,019	183	
	Flex - Gasolina C	0,50	0,01	0,04	0,004	210	0,0011
	Flex - Etanol	0,51	0,15	0,14	0,020	100	
2004	Gasolina C	0,35	0,11	0,09	0,004	190	0,0011
	Etanol	0,82	0,17	0,08	0,016	160	
	Flex - Gasolina C	0,39	0,08	0,05	0,003	201	0,0011
	Flex - Etanol	0,46	0,14	0,14	0,014	190	
2005	Gasolina C	0,34	0,10	0,09	0,004	192,00	0,0011
	Etanol	0,82	0,17	0,08	0,016	160,00	
	Flex - Gasolina C	0,45	0,11	0,05	0,003	188,00	0,0011
	Flex - Etanol	0,39	0,14	0,10	0,014	180,00	
2006	Gasolina C	0,33	0,08	0,08	0,002	192,00	0,0011
	Etanol	0,67	0,12	0,05	0,014	200,00	
	Flex - Gasolina C	0,48	0,10	0,05	0,003	185,00	0,0011
	Flex - Etanol	0,47	0,11	0,07	0,014	177,00	

ANEXO D - Continuação

2007	Gasolina C	0,33	0,08	0,08	0,002	192,00	0,0011
	Etanol	nd	nd	nd	nd	nd	
	Flex - Gasolina C	0,48	0,10	0,05	0,003	185,00	0,0011
	Flex - Etanol	0,47	0,11	0,07	0,014	177,00	
2008	Gasolina C	0,37	0,04	0,04	0,001	223,00	0,0011
	Flex - Gasolina C	0,51	0,07	0,04	0,002	185,00	0,0011
	Flex - Etanol	0,71	0,05	0,05	0,015	187,00	
	Diesel	0,30	0,06	0,75	nd	nd	
2009	Gasolina C	0,30	0,03	0,02	0,002	228,00	0,0011
	Flex - Gasolina C	0,33	0,03	0,03	0,002	181,00	0,0011
	Flex - Etanol	0,56	0,03	0,03	0,010	174,00	
	Diesel	0,31	0,06	0,70	nd	285,00	
2010	Gasolina C	0,23	0,03	0,02	0,001	213,00	0,0011
	Flex - Gasolina C	0,28	0,04	0,03	0,002	178,00	0,0011
	Flex - Etanol	0,51	0,09	0,04	0,007	172,00	
	Diesel	0,14	0,03	0,72	nd	266,00	

Fonte: Adaptado de CETESB, 2010.