



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

HELRY LUVILLANY FONTENELE DIAS

**ANÁLISE DA MODELAGEM INTEGRADA DA EMISSÃO DE
POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE VEÍCULOS
TRANSPORTADORES DE CARGA EM ÁREA URBANA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FORTALEZA

2014

HELRY LUVILLANY FONTENELE DIAS

**ANÁLISE DA MODELAGEM INTEGRADA DA EMISSÃO DE
POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE VEÍCULOS
TRANSPORTADORES DE CARGA EM ÁREA URBANA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Bruno Vieira Bertoncini

Fortaleza
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

D532a Dias, Helry Luvillany Fontenele.
 Análise da modelagem integrada da emissão de poluentes atmosféricos provenientes de
 veículos transportadores de carga em área urbana / Helry Luvillany Fontenele Dias. – 2014.
 117 f. : il.color. , enc. ; 30 cm.

 Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2014.
 Área de Concentração: Planejamento e Operação de Sistema de Transportes.
 Orientação: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini.

 1. Transportes. 2. Simulação de tráfego. 3. Transportes - Planejamento. I. Título.

HELRY LUVILLANY FONTENELE DIAS

**ANÁLISE DA MODELAGEM INTEGRADA DA EMISSÃO DE
POLUENTES ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE VEÍCULOS
TRANSPORTADORES DE CARGA EM ÁREA URBANA**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes, da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Mestre em Engenharia de
Transportes. Área de Concentração:
Planejamento e Operação de Sistemas
de Transportes.

Aprovada em 21/08/2014.

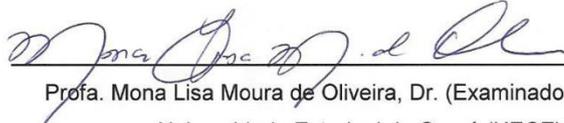
BANCA EXAMINADORA



Prof. Bruno Vieira Bertoncini, D.Sc. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Flávio José Craveiro Couto, Ph.D. (Examinador Interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Mona Lisa Moura de Oliveira, Dr. (Examinadora Externa)
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

*“Os que se encantam com a prática sem a
ciência são como os timoneiros que
entram no navio sem timão nem
bússola, nunca tendo certeza
do seu destino”
(Leonardo da Vinci 1452 – 1519)*

À minha mãe.

*À Vanessa, por estar comigo todos
esses anos.*

*À tia Graça e toda sua família,
por toda a influência que
tiveram sobre mim.*

*Ao Professor Bruno Bertoini,
por ter dado um voto de
confiança e ter acreditado no
nosso trabalho.*

AGRADECIMENTOS

À minha mãe por ter me ajudado com todas as suas forças, especialmente nos momentos de maiores dificuldades que enfrentamos, em maior parte no começo da minha jornada.

À minha parceira e melhor amiga, Vanessa, que lutou incondicionalmente junto a mim para a vitória em várias batalhas, inclusive na construção deste trabalho.

À tia Graça, tio Paulo, Iuri, Katiucha e Dona Áurea, sem o apoio desta família todo o caminho até a realização deste trabalho não teria sido trilhado com sucesso.

Ao Professor Bruno, me ensinando que a relação entre docente e discente pode ser de amizade e profundo respeito, sem esquecer o trabalho. Sinto-me afortunado e orgulhoso por nossos caminhos terem se cruzado para a construção desta parceria.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudo que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores do Departamento de Engenharia de Transportes da UFC meu muito obrigado por terem contribuído para minha formação profissional.

Ao Professor Carlos Augusto Uchôa da Silva, que contribuiu diretamente para a construção da metodologia utilizada no trabalho.

Um agradecimento especial aos pesquisadores da Universidade Estadual do Ceará, em particular do Departamento de Ciências Físicas Aplicadas, que contribuíram diretamente para a construção da metodologia utilizada no trabalho.

À Professora Mona Lisa Moura de Oliveira, que contribuiu para a construção da metodologia utilizada no trabalho.

Um agradecimento especial aos pesquisadores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, em particular do Departamento de Química e

Meio Ambiente, que contribuíram diretamente para a construção da metodologia utilizada neste trabalho.

Ao Professor Rinaldo dos Santos Araújo, que contribuiu diretamente para a construção da metodologia utilizada no trabalho.

Aos pesquisadores e amigos Ana, Cassiano e Julie, que contribuíram diretamente para a construção da metodologia utilizada no trabalho.

Aos pesquisadores e funcionários do Grupo de Pesquisa em Transportes, Trânsito e Meio Ambiente – GTTEMA, que contribuíram direta ou indiretamente para a construção do trabalho.

Ao meu amigo Rafael Raulino Santiago, com quem pude discutir ideias e me auxiliou no desenvolvimento da pesquisa.

Ao meu amigo Felipe Macena Alves, com quem pude discutir ideias e me auxiliou no desenvolvimento da pesquisa.

Ao meu amigo Davi de Matos Alves, com quem pude contar desde a graduação até a conclusão deste trabalho.

À minha amiga Paula Rocha Lima Pinheiro, por toda a contribuição através dos contatos realizados com as empresas que disponibilizaram os veículos (Sodine e Saef), juntamente ao senhor Roberto e Esio Pinheiro Neto, proprietários das empresas parceiras da pesquisa.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho e por um lapso tenha esquecido de referir os nomes.

RESUMO

DIAS, H. L. F. (2014) **Análise da Modelagem Integrada da Emissão de Poluentes Atmosféricos Provenientes de Veículos Transportadores de Carga em Área Urbana**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – CE.

A meta do trabalho é analisar a capacidade de se modelar a emissão de poluentes provenientes dos veículos transportadores de carga em áreas urbanas adensadas, por meio de modelos integrados de emissão e simulação de tráfego. Estes modelos são comumente utilizados em atividades de planejamento de transportes e gerenciamento de tráfego. Ademais, é proposto e detalhado um método de coleta de emissões com dispositivo embarcado em campo, além de simulações de tráfego com o objetivo de estimar as emissões de poluentes de veículos de carga em área urbana. É apresentado o detalhamento dos experimentos para análise dos simuladores de tráfego com modelos de emissão integrados. Três simuladores de tráfego foram utilizados na estimação das emissões: AIMSUN, INTEGRATION e VISSIM. O experimento mostrou que os limites de emissões estabelecidos por lei não estão sendo observados para os Materiais Particulados. O experimento mostrou que para Materiais Particulados o simulador de tráfego AIMSUN apresentou dados mais próximos dos coletados em campo, já para Monóxido de Carbono e Óxidos de Nitrogênio o simulador INTEGRATION apresentou dados mais próximos, considerando o fator de soma importância, a ausência de calibração dos modelos, mostrando a necessidade de calibração acurada para levantamentos mais próximos dos colhidos em campo, pois os resultados foram pífios comparados com os reais. Para veículos de maiores dimensões, foram observados menores índices de emissões, em função de a modelagem considerar fortemente a velocidade e aceleração para realizar as estimativas. Por último, com o aumento do tráfego foi observado aumento de emissões de Materiais Particulados, mas os Óxidos de Carbono e Nitrogênio se mantiveram aproximadamente constantes com a variação do tráfego.

Palavras-chave: Modelagem; emissões; modelos integrados; simuladores; VUC.

ABSTRACT

DIAS, H. L. F. (2014) **Analysis of Integrated Modeling of Air Pollutants Emission Vehicle Transporters Coming Load in Urban Area**. Dissertation (MS) - Federal University of Ceará. Fortaleza - CE.

The main topic of this work is the analysis of the integrated modelling of air pollutants emissions of light-duty vehicle in urban areas with dynamic traffic models. These models constitute fundamental components to support the development and assessment of traffic management policies, and the optimization of their parameters, to alleviate the negative impacts of road traffic. Furthermore, it is proposed and detailed a method for collecting real emission from light-duty vehicle in a dynamic traffic state. In this work, the details of the experiments for analysis of traffic simulators with integrated emission models are presented. Three traffic simulators have been used in the analysis: AIMSUN, INTEGRATION and VISSIM. The experiment showed that the emission limits established by law are not being observed/real for Particulate Materials (PM). The experiment showed that the estimative of PM from AIMSUN's model is closest presented data real, since for Carbon Monoxide and Nitrogen Oxides the INTEGRATION's model is better. In this work not employed calibration effort, showing the need for more accurate calibration for future researchs. For larger vehicles, lower emission rates were observed, depending on the modeling strongly consider the speed and acceleration to make the estimates. Finally, with the increase in traffic increased emissions of particulates were observed, but the oxides of carbon and nitrogen remained approximately constant with changes in the traffic.

Keywords: Modeling; emissions; integrated models; simulators; VUC.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	16
INTRODUÇÃO.....	16
1.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO.....	16
1.2. PROBLEMATICA E QUESTÕES DE PESQUISA.....	18
1.3. OBJETIVOS.....	20
1.4. JUSTIFICATIVA.....	20
1.5. ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	21
CAPÍTULO 2	23
EMISSÕES VEICULARES.....	23
2.1 - INTRODUÇÃO.....	23
2.2. PRINCIPAIS EMISSÕES PROVENIENTES DOS VEÍCULOS TRANSPORTADORES DE CARGA.....	24
2.2.1. Materiais particulados (MP).....	24
2.2.2. Óxidos de carbono (CO e CO ₂).....	25
2.2.3. Óxidos de Nitrogênio (NO _x).....	26
2.2.4. Hidrocarbonetos (HC).....	27
2.3. NORMAS DE EMISSÃO DE POLUENTES.....	28
CAPÍTULO 3	30
MODELOS INTEGRADOS.....	30
3.1 – MODELOS INTEGRADOS DE EMISSÃO DE POLUENTES.....	30
3.1.1 – Modelos de Tráfego.....	34
3.2 - INTEGRAÇÕES ENTRE MODELOS DE EMISSÃO E MODELOS DE TRÁFEGO.....	37
3.2.1. Integração entre o modelo de tráfego VISSIM e o modelo de emissão EnViver.....	37
3.2.2. Integração entre o modelo de tráfego AIMSUM e o modelo de emissão Panis <i>et al</i> :.....	40
3.2.3. Integração entre o modelo de tráfego INTEGRATION e o modelo de emissão VT - Micro:.....	43
CAPÍTULO 4	45
DETALHAMENTO DA PROPOSTA.....	45
4.1. DEFINIÇÃO DA REDE DE TRANSPORTES UTILIZADA NO EXPERIMENTO.....	46
4.2. CODIFICAÇÃO DA REDE DE TRANSPORTES.....	46
4.3. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE COLETA DAS EMISSÕES EM CAMPO.....	47
4.4. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE COLETA EM CAMPO E CONTAGEM DOS VOLUMES DE TRÁFEGO.....	50
4.5. ANÁLISE LABORATORIAL DAS COLETAS DE EMISSÕES.....	51
4.6. TRATAMENTO DOS DADOS REAIS DE EMISSÃO.....	52
4.7. ALIMENTAÇÃO DOS DADOS NOS SIMULADORES DE TRÁFEGO.....	53
4.8. TRATAMENTO DOS DADOS SIMULADOS.....	53
4.9. CONFRONTO DOS DADOS DE EMISSÃO COLETADOS EM CAMPO E SIMULADOS.....	54
CAPÍTULO 5	55
EXPERIMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	55
5.1. DEFINIÇÃO DA REDE DE TRANSPORTES UTILIZADA NO EXPERIMENTO.....	55
5.2. CODIFICAÇÃO DA REDE DE TRANSPORTES.....	58
5.3. DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO E MÉTODO DE COLETA DAS EMISSÕES EM CAMPO.....	62
5.4. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE COLETA EM CAMPO E CONTAGEM DOS VOLUMES DE TRÁFEGO.....	66
5.4.1. Aplicação da Metodologia de Coleta das Emissões.....	66
5.4.2. Contagens dos Volumes de Tráfego.....	67
5.5. ANÁLISE LABORATORIAL DAS COLETAS DE EMISSÕES.....	70
5.6. TRATAMENTO DOS DADOS REAIS DE EMISSÃO.....	71
5.7. ALIMENTAÇÃO DOS DADOS NOS SIMULADORES DE TRÁFEGO.....	79
5.8. TRATAMENTO DOS DADOS SIMULADOS.....	84

5.9. CONFRONTO DOS DADOS DE EMISSÃO COLETADOS EM CAMPO E SIMULADOS	87
CAPÍTULO 6.....	98
CONCLUSÕES	98
6.1 – BREVE EXPOSIÇÃO DO TRABALHO	98
6.1.1 Revisão Teórica.....	99
6.1.2 Detalhamento da Proposta	99
6.1.3 Experimento e Análise dos Resultados.....	99
6.2 PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	100
6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
APÊNDICE A	109
APÊNDICE B	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Problemas no transporte urbano de carga (Dutra, 2004)	17
Figura 1.2 - Síntese da metodologia empregada na dissertação (Fonte: Autor).....	21
Figura 2.1 - Emissões relativas de poluentes por tipo de fontes – 2005 (Fonte: CETESB, 2008).....	29
Figura 3.1 - Fluxograma para a estimativa dos impactos do tráfego na qualidade do ar (Adaptado de CAPPIELLO, 2002).....	31
Figura 3.2 - Representação esquemática da modelagem da demanda por transportes (LOUREIRO, 2011)	32
Figura 3.3 - Representação esquemática da modelagem da oferta por transportes (LOUREIRO, 2011)	33
Figura 3.4 - Representação modelo de oferta (Adaptado de Cascetta, 2009)	33
Figura 4.1 - Fluxograma do detalhamento da proposta para os objetivos da pesquisa .	46
Figura 4.2 - Exemplo de porta filtro (cassete) comercializado	49
Figura 4.3 - Representação de um ciclone genérico do tipo Lapple	49
Figura 4.4 - Analisador eletrônico de partículas portátil Greenline 8000	53
Figura 5.1 - Área de Estudo.....	56
Figura 5.2a - Histograma de volumes de tráfego, Av. Santos Dumont com Carlos Vasconcelos, 08 de Outubro de 2013 (Fonte: CTAFOR, 2014)	57
Figura 5.2b - Histograma de volumes de tráfego, Av. Santos Dumont com Rui Barbosa, 08 de Outubro de 2013 (Fonte: CTAFOR, 2014).....	57
Figura 5.2c - Histograma de volumes de tráfego, Av. Santos Dumont com Barão de Studart, 08 de Outubro de 2013 (Fonte: CTAFOR, 2014)	57
Figura 5.3a - Ilustração em alta resolução do trecho completo analisado (com um cruzamento marcado para detalhamento através de aproximação)	59
Figura 5.3b - Cruzamento detalhado da imagem do Google Earth.....	59
Figura 5.4 - Rede codificada no simulador de tráfego AIMSUN.....	60
Figura 5.5 - Rede codificada no simulador de tráfego VISSIM.....	60
Figura 5.6 - Desenho da rede em arquivo .dwg (AUTOCAD 2010).....	61
Figura 5.7 - Representação da rede codificada no simulador INTEGRATION.....	61
Figura 5.8a - Imagem frontal do cassete construído em alumínio	
Figura 5.8b - Imagem interna do cassete construído em alumínio.....	
Figura 5.9a - Imagem frontal do ciclone construído em alumínio	64
Figura 5.9b - Imagem da região inferior do ciclone separada do topo (rosqueável).....	64

Figura 5.10 - Sistema construído sobre uma plataforma de madeira, contendo a metodologia de coleta de emissões.....	65
Figura 5.11 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 2 (entre 07h:00min e 07h:15min)	68
Figura 5.12 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 3 (entre 07h:15min e 07h:30min)	69
Figura 5.13 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 4 (entre 07h:30min e 07h:45min)	69
Figura 5.14 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 5 (entre 08h:00min e 08h:15min)	69
Figura 5.15 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 6 (entre 08h:15min e 08h:30min)	70
Figura 5.16 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 7 (entre 08h:30min e 08h:45min)	70
Figura 5.17a - Imagem de um filtro de celulose sem contaminação.....	71
Figura 5.17b - Imagem de um dos filtros de celulose com particulados retidos, após coleta.....	71
Figura 5.18a - Ciclo de condução 2, referente a Monóxido de Carbono (g/km)	78
Figura 5.18b – Ciclo de condução 2, referente a DIóxido de Carbono (g/km).....	78
Figura 5.18c – Ciclo de condução 2, referente a Material Particulado (g/km)	79
Figura 5.19a - Representação do veículo Probe no simulador de tráfego AIMSUN....	81
Figura 5.19b - Representação do veículo Probe (com aproximação de imagem) no simulador de tráfego AIMSUN.	81
Figura 5.20a - Representação do veículo Probe no simulador de tráfego VISSIM	82
Figura 5.20b - Representação do veículo Probe (com aproximação de imagem) no simulador de tráfego VISSIM	82
Figura 5.21a - Representação do veículo Probe no simulador de tráfego INTEGRATION	83
Figura 5.21b - Representação do veículo Probe (com aproximação de imagem) no simulador de tráfego INTEGRATION	83
Figura 5.22 - Ilustração da tela de seleção dos dados do modelo de emissão presente no simulador AIMSUN	84
Figura 5.23 - Ilustração da tela de seleção dos dados do modelo de emissão que pode ser integrado ao simulador de tráfego VISSIM.....	85

Figura 5.24 - Ilustração da tela de verificação dos dados de saída da simulação no INTEGRATION, com dados de emissão destacados	86
Figura 5.25 - Gráfico comparativo de erros percentuais das estimativas das emissões de MP	91
Figura 5.26 - Gráfico comparativo de erros percentuais das estimativas das emissões de Óxidos de Nitrogênio, nos 6 Ciclos analisados	92
Figura 5.27 - Tempos médios de viagem para cada veículo Probe nos simuladores AIMSUN e INTEGRATION.....	95
Figura 5.28a - Emissões médias para cada veículo Probe no simulador INTEGRATION	96
Figura 5.28b - Emissões médias para cada veículo Probe no simulador AIMSUN	96
Figura 5.29a - Emissões observadas do Ciclo 3 ao 7, para Materiais Particulados	97
Figura 5.29b - Emissões observadas do Ciclo 3 ao 7, para Monóxido de Carbono.....	97
Figura 5.29c - Emissões observadas do Ciclo 3 ao 7, para Óxidos de Nitrogênio.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Principais compostos presentes nos materiais particulados e seus impactos	25
Tabela 2.2 - Valores de concentrações estipulados pela OMS (Fonte: OMS, 2005)	28
Tabela 2.3 - Limites de emissões para veículos pesados, em g/kWh (CONAMA, 2008)	28
Tabela 3.1a - Fatores transientes para a correção de NO _x	39
Tabela 3.1b - Fatores transientes para a correção de CO	39
Tabela 3.1c - Fatores transientes para a correção de Materiais Particulados	40
Tabela 3.2 - Valores dos fatores da função para veículos de carga a diesel. (Panis <i>et al</i> , 2006).....	42
Tabela 5.1 - Identificação de cada link para verificação dos dados dos histogramas de tráfego.....	68
Tabela 5.2 - Dados calculados referentes ao segundo ciclo, 07h08min, com 132,5 s (T.V.)	72
Tabela 5.3 - Dados calculados referentes ao terceiro ciclo, 07h27min, com 125,3 s (T.V.)	72
Tabela 5.4 - Dados calculados referentes ao quarto ciclo, 07h43min, com 143,1 s (T.V.)	73
Tabela 5.5 - Dados calculados referentes ao quinto ciclo, 08h02min, com 138,6 s (T.V.)	73
Tabela 5.6 - Dados calculados referentes ao sexto ciclo, 08h18min, com 140,2 s (T.V.)	74
Tabela 5.7 – Dados calculados referentes ao sétimo ciclo, 08h33min, com 129,4 s (T.V.)	74
Tabela 5.8 - Dados calculados referentes ao segundo ciclo, 07h08min	75
Tabela 5.9 - Dados calculados referentes ao terceiro ciclo, 07h27min	75
Tabela 5.10 - Dados calculados referentes ao quarto ciclo, 07h43min	76
Tabela 5.11 - Dados calculados referentes ao quinto ciclo, 08h02min	76
Tabela 5.12 - Dados calculados referentes ao sexto ciclo, 08h18min	76
Tabela 5.13 - Dados calculados referentes ao sétimo ciclo, 08h33min.....	77
Tabela 5.14 - Dados de emissões obtidos limitados pelo fase P-7 do PROCONVE e dados coletados em campo (g/kWh).....	77

Tabela 5.15 - Acelerações máximas dos veículos analisados	80
Tabela 5.16 - Emissões médias estimadas em cada simulador nos circuitos (horários) percorridos.....	86
Tabela 5.17a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo 2.....	88
Tabela 5.17b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo 2	88
Tabela 5.18a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo3.....	88
Tabela 5.18b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo3	88
Tabela 5.19a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo4.....	89
Tabela 5.19b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo4	89
Tabela 5.20a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo5.....	89
Tabela 5.20b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo5	89
Tabela 5.21a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo6.....	90
Tabela 5.21b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo6	90
Tabela 5.22a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo7.....	90
Tabela 5.22b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo 7	90
Tabela 5.23 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 2 (07:00h – 07:15h)	93
Tabela 5.24 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 3 (07:15h – 07:30h)	94
Tabela 5.25 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 4 (07:30h – 07:45h)	94
Tabela 5.26 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 5 (08:00h – 08:15h)	94
Tabela 5.27 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 6 (08:15h – 08:30h)	94
Tabela 5.28 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 7 (08:30h – 08:45h)	95

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO

Dentre os desafios para as cidades, em termos de mobilidade, está a distribuição da carga urbana. O rápido crescimento da população, a complexidade e alta competitividade nos serviços de distribuição associam-se a movimentação das cargas dentro dos centros urbanos, causando problemas como poluição atmosférica, acidentes, ruídos, congestionamentos e potenciais riscos à saúde humana.

Ruesch e Glucker (2000), com o intuito de entender os principais problemas que caracterizam os transportes de carga urbana, pesquisaram junto as autoridades de várias cidades europeias os problemas advindos do tráfego dos veículos de carga urbana, listando-os de forma hierarquizada nas seguintes categorias: fluxo de veículos de carga; tipos de veículos utilizados (questão de eficiência); operações de carregamento e descarregamento de mercadorias e coordenação entre agentes (poder público e atores envolvidos diretamente no transporte de mercadorias). Sendo assim, os autores concluíram que é necessário o uso adequado dessa modalidade de veículos, buscando-se benefícios para a qualidade de vida de pessoas que habitam os centros urbanos, sobretudo visando melhorias a qualidade do ar local.

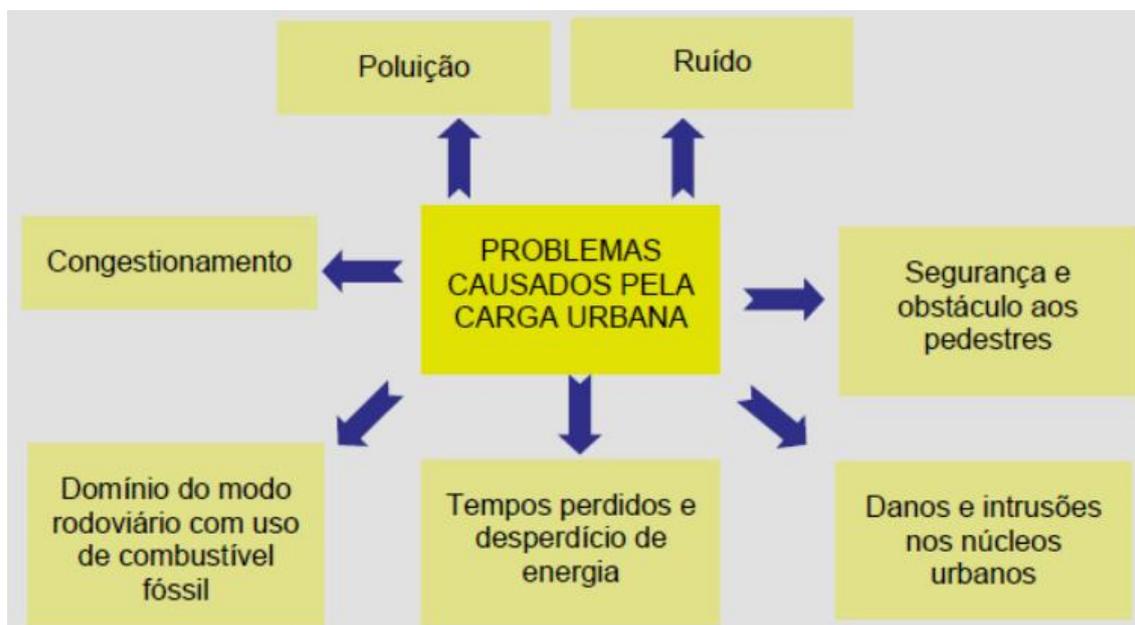
Segundo Taniguchi *et al* (2014), com o progresso da urbanização do mundo, aproximadamente metade da população está concentrada em áreas urbanas e a previsão é que até 2050 a taxa aumente 70%. Essa população tenderá a consumir mais produtos, conseqüentemente demandará por mais viagens para entrega de mercadorias que, associadas às viagens do transporte de pessoas, resultará em congestionamentos de tráfego, poluição do ar, acidentes e alto consumo de energia.

Em vista desta problemática, Taniguchi e colaboradores (2001) afirmam que o transporte de carga é responsável por uma série de efeitos nocivos, que acarretam impactos no tráfego, na infraestrutura, no consumo energético e no ambiente. No entanto, apesar de resultar efeitos nocivos, os fatores ambientais não são amplamente

considerados quando da proposição de políticas públicas que regulamentam a distribuição de carga em áreas urbanas.

Para Caixeta Filho e Martins (2001), o transporte urbano de cargas tem importância fundamental dentro do processo de urbanização, que requer um modo de transportar seus bens e mercadorias. Entretanto, esse deslocamento, em uma percepção geral contribui de forma significativa, para problemas de congestionamento, poluição, ruído, dentre outros, como pode ser visto na Figura 1.1.

Figura 1.1 - Problemas no transporte urbano de carga (Dutra, 2004)



Porém, quando se planeja a mobilidade urbana, nem todos os centros urbanos estudam e/ou incluem a distribuição de suas cargas, quiçá os totais de emissão provenientes dos veículos, bem como seus efeitos colaterais. De acordo com relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2014), sete milhões de pessoas morreram ao redor do mundo em decorrência dos efeitos da poluição atmosférica no ano de 2012.

Nota-se que a poluição atmosférica traz conseqüências impactantes para a sociedade, sendo que o transporte urbano contribui para mais da metade da poluição atmosférica. Na cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, este índice chega a 77% (COPPE, 2006). Assim, ao se planejar medidas para melhorias da mobilidade urbana, deve-se observar não apenas indicadores que resultem em melhoria da “trafegabilidade”, mas também àqueles que impactam na saúde humana, em especial os

relacionados com a qualidade do ar. A verificação dos níveis de poluição deve ser realizada pelo monitoramento dos poluentes, mas na ausência deste controle é possível fazer uso de modelos matemáticos (SEMA, 2006). Neste sentido, Swidan (2011) afirma que modelos de emissão integrados aos modelos de tráfego são ferramentas imprescindíveis para estudar os efeitos do tráfego nas emissões dos poluentes atmosféricos e consumo de combustível. Assim, o uso de ferramentas de simulação de tráfego, integradas aos modelos de emissão, pode contribuir para o planejamento dos transportes, em especial de carga urbana, com vistas à melhoria da circulação, bem como na redução das emissões de poluentes.

1.2.PROBLEMÁTICA E QUESTÕES DE PESQUISA

A economia brasileira vivencia um momento em que os cenários de crescimento trazem projeções otimistas, sendo que o setor de transportes exerce papel de destaque neste processo, no que compete a movimentação de cargas e passageiros. As crescentes taxas de urbanização, a retomada do crescimento econômico, o aumento do consumo por parte da população, a deficiência de políticas públicas voltadas ao transporte urbano de mercadorias, têm implicado em aumento expressivo e desordenado da movimentação e distribuição de cargas urbanas.

Este crescimento trará consigo efeitos nocivos decorrentes da expansão da frota e, conseqüentemente, das emissões de poluentes atmosféricos, sobretudo nas grandes cidades, o que demanda melhoria contínua da qualidade dos combustíveis e da tecnologia dos veículos, além de soluções de mobilidade urbana. Os números crescentes da frota no país e as sabidas condições precárias de sua manutenção, fazem aumentar a preocupação e atenção com a emissão de poluentes atmosféricos, sendo determinante reduzir os níveis de emissão dos principais poluentes veiculares, entre eles o material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), óxidos de enxofre (SO_x) e compostos de chumbo (Pb₁). Em complementação, tem-se o dióxido de carbono (CO₂) que, embora não seja considerado um poluente devido à sua baixa toxicidade, compõe a relação dos gases que contribuem para o efeito estufa (CAPPIELLO, 2002).

Os veículos transportadores de carga são, costumeiramente, tidos como grandes vilões da mobilidade urbana, muito por suas dimensões. Inclusive, alguns consideram que os mesmos são responsáveis por parcela significativa das emissões de

poluentes atmosféricos. Considerando as possibilidades de emissões apresentadas, faz-se necessário o desenvolvimento de uma metodologia de coleta de dados relativos a esses poluentes, com vistas ao monitoramento dos níveis estabelecidos pelas leis vigentes, em cada um dos veículos monitorados.

Para a avaliação do desempenho dos veículos monitorados, a modelagem da emissão de poluentes pode ser utilizada para que tais levantamentos sejam feitos, sobretudo com a sua integração a modelos de tráfego devidamente calibrados ao cenário escolhido, podendo então ser uma maneira de incluir as questões ambientais aos estudos de regulamentação de carga urbana, e não somente os impactos relativos a congestionamentos.

Face ao exposto, o desenvolvimento do presente trabalho pretende verificar algumas questões relativas ao estudo da emissão de poluentes atmosféricos provenientes de veículos transportadores de carga em áreas urbanas, em especial àquelas relativas ao emprego de modelos matemáticos capazes de explicar/replicar os efeitos provenientes das emissões, que serão listadas a seguir:

- Como aplicar uma metodologia de coleta embarcada, dinâmica para avaliar as emissões provenientes dos veículos transportadores de carga em áreas urbanas?
- Qual a relação entre as emissões de poluentes com o tráfego, de forma a ser possível fazer previsões em cenários futuros, ou naqueles em que não seja possível coletar dados *in loco*?
- Que parâmetros contribuem para a escolha de um modelo integrado (simulação + emissão) que se adeque ao tipo de transporte estudado?
- Como medidas mitigadoras à distribuição de carga urbana podem influenciar nos impactos ambientais, no que diz respeito à emissão de poluentes atmosféricos?

1.3. OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa é analisar a capacidade de se modelar a emissão de poluentes provenientes dos veículos transportadores de carga em áreas urbanas adensadas, por meio de modelos integrados de emissão e simulação de tráfego. Para atender a este objetivo geral, o estudo compreende os seguintes objetivos específicos, dispostos em ordem cronológica de execução:

- Desenvolver uma metodologia de coleta de emissão de poluentes provenientes de veículos transportadores de carga urbana;
- Analisar o desempenho de simuladores de tráfego integrados a modelos de emissão, objetivando estabelecer relações que possibilitem identificar qual (ais) mais se aproxima (m) das medidas de desempenho obtidas em campo;
- Confrontar as emissões monitoradas em campo com os limites de emissões estabelecidos pelas leis vigentes;
- Comparar as emissões provenientes de veículos estabelecidos como veículos urbanos de carga (VUC) e veículos fora de suas especificações, tendo em vista que este tipo de ação tem sido proposta como uma das principais medidas mitigadoras adotadas para melhoria da mobilidade urbana em municípios brasileiros;

1.4. JUSTIFICATIVA

O transporte urbano de mercadorias é importante, pois influencia diretamente a eficiência de uma economia, tem papel fundamental na manutenção das atividades industriais e comerciais, gera empregos, contribui para a competitividade das indústrias locais. Apesar disso, apresenta efeitos negativos, no âmbito social e ambiental no meio urbano (BESTUFS, 2007).

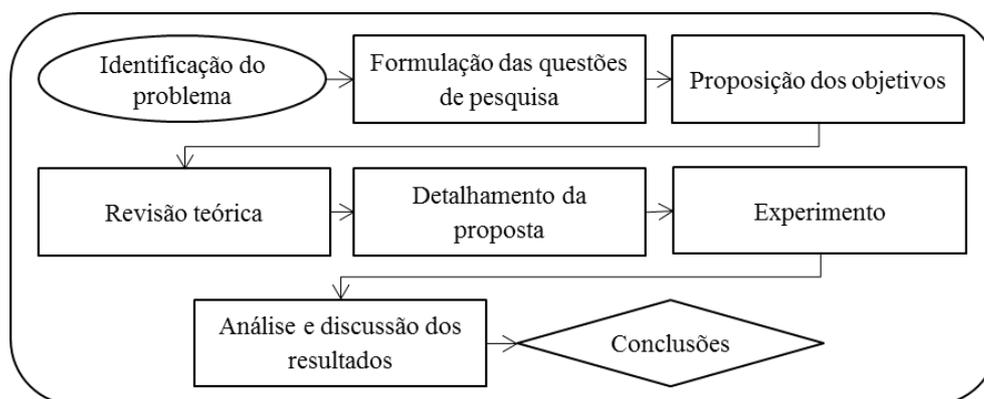
Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB, 2008), em seu capítulo sexto, inciso primeiro, diz que o Sistema Nacional de Trânsito tem como objetivo: estabelecer diretrizes da Política Nacional de Trânsito, com vistas à segurança, à fluidez, ao conforto, à defesa ambiental e à educação para o trânsito, e fiscalizar seu cumprimento.

Com o intuito de mudar o cenário de planejamento urbano de tráfego de veículos de carga, com vistas à inclusão das questões ambientais no que diz respeito emissão de poluentes provenientes desses veículos, o conteúdo deste estudo busca justificar-se. Sabe-se que os níveis de poluentes devem ser obtidos por meio de monitoramento, contudo a realidade de muitos municípios não possibilita tal ação, desta forma o emprego de modelos matemáticos pode ser uma alternativa, conforme preconiza a Resolução Sema nº 54/2006 (OLIVEIRA, 2012). Contudo, não há esforços no Brasil a respeito do emprego de modelos, muitas vezes concebidos para uma realidade distinta, para verificar a emissão de poluentes provenientes de veículos transportadores de carga.

1.5. ESTRUTURA DO DOCUMENTO

A proposta metodológica a ser aplicada no desenvolvimento do presente trabalho é sintetizada na Figura 1.2:

Figura 1.2 - Síntese da metodologia empregada na dissertação (Fonte: Autor)



Assim, para atender às etapas metodológicas propostas, a presente dissertação está organizada em sete capítulos, a começar por esta introdução. No presente capítulo são executadas as etapas de definição do problema, proposição das questões de pesquisa e objetivos a serem investigados, conforme proposta metodológica.

A revisão teórica tem por função dar suporte ao desenvolvimento dos objetivos e, no caso particular deste trabalho, busca preencher uma lacuna no estado da arte. Assim, a composição do referencial teórico foi fragmentada em duas etapas: Capítulo 2 – discussão sobre emissões veiculares, em especial sobre emissão oriunda

dos veículos transportadores de carga; Capítulo 3 – apresentação dos modelos de tráfego integrados aos modelos de emissão.

O método proposto para este trabalho será apresentado em dois capítulos. O Capítulo 4 apresenta o detalhamento da proposta elaborada para atender aos objetivos estabelecidos. Em complementação, no Capítulo 5, será apresentado o experimento juntamente as análises, realizado em campo e posteriormente com os simuladores.

Por fim, o Capítulo 6 trará as conclusões relativas aos eventos executados nos capítulos anteriores.

CAPÍTULO 2

EMISSÕES VEICULARES

2.1 - INTRODUÇÃO

Segundo Capiello (2002), em áreas urbanas, grandes quantidades de compostos químicos são emitidas para a atmosfera pelas indústrias, veículos e outras atividades humanas. Muitos compostos provenientes da ação humana já foram identificados na atmosfera, sendo a maior parte deles orgânicos. Essa mistura complexa de poluentes causa preocupação devido ao impacto à saúde e ao ambiente. Dessa maneira, a determinação sistemática da qualidade do ar deve ser, por questões de ordem prática, limitada a um restrito número de poluentes, definidos em função de sua importância e dos recursos materiais e humanos disponíveis para determiná-los. Os poluentes escolhidos para análise, costumeiramente, são os emitidos em maior quantidade e que impactam diretamente no ambiente, devido à ineficiência dos motores veiculares.

Em função da queima incompleta do combustível no motor, em virtude da falta ou excesso de ar da mistura, poluentes são lançados na atmosfera pelos motores automotivos. Com o crescimento da frota, sobretudo em áreas urbanas, os veículos representam uma parcela considerável no que diz respeito à qualidade do ar, no que se refere à emissão de poluentes (OLIVEIRA, 2012).

Os principais poluentes produzidos pela queima de combustíveis fósseis (diesel e gasolina) são: óxidos de carbono (CO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), álcoois, aldeídos, hidrocarbonetos (HC), ácidos orgânicos e materiais particulados. Os poluentes podem reagir entre si e dar origem a poluentes secundários, em alguns casos também significativos no que concerne à poluição, por exemplo, o ozônio, criado a partir de reações entre óxidos de nitrogênio, oxigênio e hidrocarbonetos na presença de luz solar. O ozônio nem sempre é prejudicial, acima da atmosfera ele é importante agente de proteção contra radiação ultravioleta, contudo, na baixa atmosfera, ele pode prejudicar o trato respiratório, causar inflamações nos olhos e até prejudicar permanentemente os pulmões (GUARIEIRO, 2011). Deve-se lembrar de que a

formação dos principais poluentes se dá dentro do ciclo dos motores (ciclo Otto e ciclo Diesel). No caso deste trabalho a análise foi exclusiva de motores ciclo diesel, presentes nos veículos transportadores de carga, objeto do estudo.

2.2. PRINCIPAIS EMISSÕES PROVENIENTES DOS VEÍCULOS TRANSPORTADORES DE CARGA

Veículos transportadores de carga, em sua maioria veículos movidos a diesel, apresentam emissões particulares de poluentes. Dentre tais, os principais compostos advindos destes veículos são: (i) óxidos de carbono, em especial o monóxido e o dióxido; (ii) óxidos de nitrogênio; (iii) hidrocarbonetos; e, em especial, (iv) materiais particulados. Um breve detalhamento de tais compostos será apresentado nos próximos itens.

2.2.1. Materiais particulados (MP)

De acordo com WBCSD (2004), material particulado é um termo genérico para todas as partículas suspensas no ar, incluindo poeira suspensa, fumaça e gotículas de líquido. Tais partículas se originam principalmente de diesel e consistem de um núcleo sólido de carbono elementar, sobre o qual grande variedade de compostos orgânicos e óxidos, tais como sulfatos aderem. As emissões de materiais particulados provenientes de veículos com motor a diesel são maiores, em massa, que a dos motores a gasolina, em torno de 50 a 100 vezes. As emissões de partículas mais elevadas resultam da combustão incompleta das gotas de combustível líquido, perto do injetor de combustível. Embora a maior parte das partículas seja queimadas no cilindro antes de deixar o motor, algumas continuam e saem do escapamento do motor como pequenas partículas (0,1-100 μm de diâmetro).

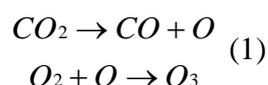
O trato respiratório superior humano é capaz de filtrar partículas acima de 10 μm com 100% de eficiência. A eficiência, no entanto, diminui com a redução do tamanho das partículas e está próximo a zero para partículas de cerca de 1 μm , que podem facilmente entrar no sistema pulmonar humano. Estas partículas mostram um comportamento gasoso durante o processo de dispersão nas imediações das ruas e, com o tempo, tendem a aglomerar em partículas maiores. Vários compostos podem estar presentes na atmosfera sob a forma de materiais particulados, conforme sintetizado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Principais compostos presentes nos materiais particulados e seus impactos

Composto do MP	Impacto ao ser humano e ao meio ambiente
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Formação de chuva ácida; redução de visibilidade na atmosfera.
Monóxido de Carbono (CO)	Doenças cardiovasculares; problemas respiratórios.
Ozônio (O ₃)	Névoa fotoquímica; danos à estrutura da vegetação para ozônio próximo ao solo.
Hidrocarbonetos (HC)	Aldeídos podem ser cancerígenos; também contribui para a formação de névoa.
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	Contribui para a formação do ozônio; pode causar problemas respiratórios.

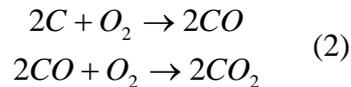
2.2.2. Óxidos de carbono (CO e CO₂)

O monóxido de carbono (CO) é um gás tóxico que resulta da combustão incompleta dos veículos automotores. Tal gás é incolor, inodoro, porém venenoso, sendo proveniente da reação do carbono com oxigênio presente na atmosfera, conforme apresentado na Equação (1). Ele reage com a hemoglobina presente no sangue para formar carboxihemoglobina, causando uma redução do oxigênio transportado dos pulmões para as células do corpo. As elevadas concentrações de CO podem aumentar o risco de doenças cardiovasculares e impedir as funções psicomotoras. Crianças, idosos e pessoas que já apresentam quadros clínicos de doenças cardiovasculares e problemas respiratórios sofrem com a presença destes poluentes. Além disso, CO indiretamente contribui para a formação de ozônio e metano, conforme se observa na Equação (1), na qual se apresenta o ciclo de formação do CO e sua contribuição para a formação dos derivados indiretos, com a possível dissociação do dióxido de carbono em monóxido de carbono e oxigênio.



O dióxido de carbono (CO₂) é o principal produto da combustão completa de motores movidos a combustíveis fósseis, conforme se observa na Equação (2). Embora seja naturalmente presente na atmosfera e não é considerado como um

poluente, contudo o CO_2 é um gás gerador do efeito de estufa, que contribui para o potencial de aquecimento global, daí a preocupação com o controle do aumento de tal emissão.

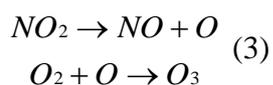


2.2.3. Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Os óxidos de nitrogênio podem ser divididos em dois principais compostos: Monóxido de nitrogênio (NO) e Dióxido de Nitrogênio (NO_2). Formam-se quando o combustível é queimado em condições de alta pressão e temperatura, o que induz a dissociação e subsequente recombinação de N_2 atmosférico e O_2 que geram NO_x . As emissões de NO_x dos veículos são emitidos a um ritmo de cerca de 95% como NO . Ele reage com amônia, umidade, e outros compostos de modo a formar ácido nítrico que pode causar graves problemas respiratórios.

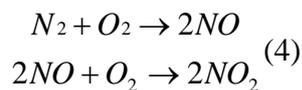
Segundo Oliveira e colaboradores (2011), as normas atuais referentes às emissões de NO_x dos veículos implicam numa redução de até 90% das emissões provenientes dos escapamentos dos veículos.

Como o dióxido de carbono, a dissociação do dióxido de nitrogênio também é responsável pela formação de ozônio troposférico, como apresentado na Equação (3).



Ele também causa a eutrofização (sobrecarga de nutrientes em corpos de água), e contribui para a formação de fumaça. A agência de proteção ambiental norte-americana EPA (*Environmental Protection Agency*) estima que fontes móveis (veículos) em rodovias contribuam para 34% do total de NO_x emitida nos EUA, sendo que 42% deste valor são produzidos por veículos com motor ciclo diesel. Isto porque os motores a diesel transportam cargas pesadas, exigindo um maior esforço do motor, tendo também relação com o modo de combustão (compressão). A reação atmosférica com oxidantes como o ozônio (O_3), durante o processo de dispersão e transporte produz NO_2 em concentrações significativas. NO_2 é de grande interesse em termos de efeitos à saúde, principalmente corrosão do trato respiratório, enquanto que o NO não apresenta

efeitos significativos sobre os seres humanos nos níveis de concentração normalmente observada no transporte rodoviário. No entanto, as emissões de NO_x podem resultar na acidificação que afeta edificações nas cidades. A combustão em motores dos veículos causam a produção primária de monóxido de nitrogênio, mas também é produzido o dióxido, como apresentado na Equação (4). (Cappiello, 2002)



2.2.4. Hidrocarbonetos (HC)

Emissões de hidrocarbonetos resultam a partir de combustão incompleta ou da evaporação de combustível. A combustão incompleta em veículos motorizados pode ocorrer devido a várias causas. Por exemplo, falta de oxigênio (O_2) no ambiente; combustível pode acumular nas fendas do cilindro do motor; porque algumas espécies químicas (de hidrocarbonetos) queimam combustível a uma temperatura mais elevada, assim, não são totalmente consumidas. Em condições estequiométricas perfeitas, as emissões de HC são geralmente proporcionais à taxa de consumo de combustível. Durante desacelerações, a queda dramática no consumo de combustível resulta em uma parada na combustão e, portanto, praticamente todo o combustível restante (o pouco que resta) é emitido sem queimar. No entanto, este excesso de combustível é tipicamente oxidado no catalisador.

Emissões relacionadas com os veículos motorizados podem ser: emissão de uma espécie diurna, causadas pela temperatura diurna, quando o veículo não está sendo conduzido; emissões do motor ainda quente, que ocorre durante cerca de uma hora após o final da viagem, devido à temperatura elevada do sistema de combustível, executando as perdas que ocorrem durante a viagem, devido à mais elevada temperatura e pressão do sistema de alimentação; perda de vapor de gasolina em repouso através de ligações defeituosas, tanques de gás, etc; emissões de reabastecimento. Os hidrocarbonetos reagem na presença de NO_x e luz solar para formar ozônio troposférico e contribuem para a formação de fumaça, que trás prejuízos para a saúde e para o efeito estufa. Os hidrocarbonetos aromáticos, tais como benzeno, são cancerígenos. (Cappiello, 2002)

2.3. NORMAS DE EMISSÃO DE POLUENTES

Vários poluentes atmosféricos são emitidos pelos veículos através da queima de combustível e de outros processos, trazendo impacto à saúde humana e ao ambiente. Desta forma, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estipula limites para os poluentes atmosféricos e tempos de exposição, conforme apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Valores de concentrações estipulados pela OMS (Fonte: OMS, 2005)

Poluente	Exposição média	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
MP _{2,5}	Anual	10
	24 horas	25
MP ₁₀	Anual	20
	24 horas	50
Monóxido de carbono	8 horas	10.000
	1 hora	30.000
Dióxido de nitrogênio	Anual	40
	1 hora	200

MP_{2,5} = Material particulado com diâmetro inferior a 2,5 μm ;

MP₁₀ = Material particulado com diâmetro inferior a 10 μm .

As normas estabelecidas pelo Euro V (norma vigente no Brasil) são as mesmas previstas pela fase P7 estabelecida pela lei N° 403 do CONAMA (2008). Segundo esta lei, são estabelecidos limites de emissões para veículos pesados novos (a partir de 1° de janeiro de 2012), seguindo as denominações estabelecidas pelo PROCONVE (Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores) em sua fase P-7, apresentados na Tabela 2.3.

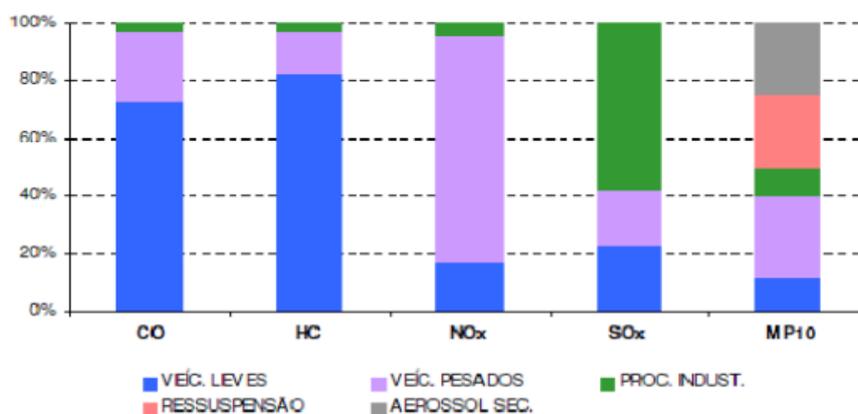
Tabela 2.3 - Limites de emissões para veículos pesados, em g/kWh (CONAMA, 2008)

Poluentes/Limites de Emissão							
	NO _x	HC	CO	CH ₄ (2)	MP	NMHC	Opacidade (m-1)
Ensaio ESC(4)/ELR(5)	2,00	0,46	1,5	N.A.	0,02	N.A.	0,5
Ensaio ETC(1)	2,00	N.A.	4,00	1,10	0,03(3)	0,55	N.A.

-
- (1) Ciclo E.T.C. - denominado Ciclo Europeu em Regime Transiente - ciclo de ensaio que consiste de mil e oitocentos modos transientes, segundo a segundo, simulando condições reais de uso. Motores a gás são ensaiados somente neste ciclo.
 - (2) Somente motores a gás são submetidos a este limite.
 - (3) Motores a gás não são submetidos a este limite.
 - (4) Ciclo E. S. C - denominado Ciclo Europeu em Regime Constante - consiste de um ciclo de ensaio com 13 modos de operação em regime constante;
 - (5) Ciclo E.L.R. - denominado Ciclo Europeu de Resposta em Carga - ciclo de ensaio que consiste numa sequencia de quatro patamares a rotações constantes e cargas crescentes de dez a cem por cento, para determinação da opacidade da emissão de escapamento.
-

Na Figura 2.1 são apresentados os valores dos níveis de emissões, em função dos tipos de poluentes, proveniente de veículos e outras fontes. Deve-se destacar que veículos movidos a diesel apresentam emissões de Óxidos de Nitrogênio e Materiais Particulados superiores a veículos com motor ciclo Otto. O primeiro ensaio destacado (ESC/ELR), diz respeito aos ensaios em regime estático, já o ensaio ETC diz respeito aos ensaios em regime transiente ou regime dinâmico.

Figura 2.1 - Emissões relativas de poluentes por tipo de fontes – 2005 (Fonte: CETESB, 2008)



Com o gráfico apresentado, é possível verificar a necessidade de observar com maior atenção os níveis de Óxidos de Nitrogênio e Materiais Particulados de até 10 micrômetros de diâmetro, pois as emissões desses dois poluentes pelos veículos movidos à diesel, é maior quando comparado com os ciclo Otto.

CAPÍTULO 3

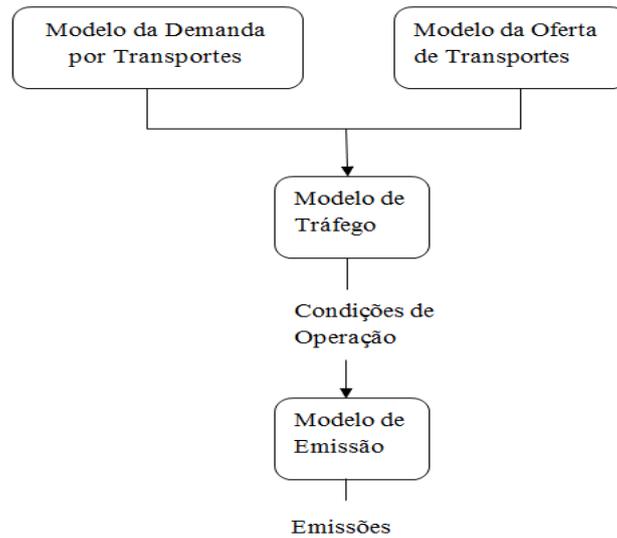
MODELOS INTEGRADOS

3.1 – MODELOS INTEGRADOS DE EMISSÃO DE POLUENTES

Nos últimos anos, muitos pesquisadores têm tentado integrar modelos de simulação de tráfego com modelos de emissão de poluentes, com o objetivo de utilizar os dados de saída do simulador de tráfego diretamente nos modelos de emissão, como velocidade, aceleração, tempo de viagem e outros. Modelos de emissão como MOBILE e MOVES tem a capacidade de estimar as emissões em larga escala, podendo ser integrados a macro simuladores de tráfego, como TRIPS e TRANSPLAN, mas a níveis operacionais, ou micro escala suas estimativas de emissão de poluentes não são precisas. Por outro lado, os modelos de simulação microscópica podem fornecer estimativas precisas para as emissões e consumo de combustível em projetos de nível operacional (RAKHA *et al* 2004). Muitos estudos usam a base de dados de emissões, como os modelos MODEM e CMEM, para calibrar modelos de micro simulação e utilizam esses modelos para avaliar os efeitos das estratégias de Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) (ANYA, 2013).

Segundo Cappiello (2002), o esforço de integração entre um modelo de tráfego e um modelo de emissão de poluentes é resultado da iteração entre demanda por transportes e oferta de transportes, conforme se pode observar no fluxograma apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Fluxograma para a estimativa dos impactos do tráfego na qualidade do ar
(Adaptado de CAPPIELLO, 2002)

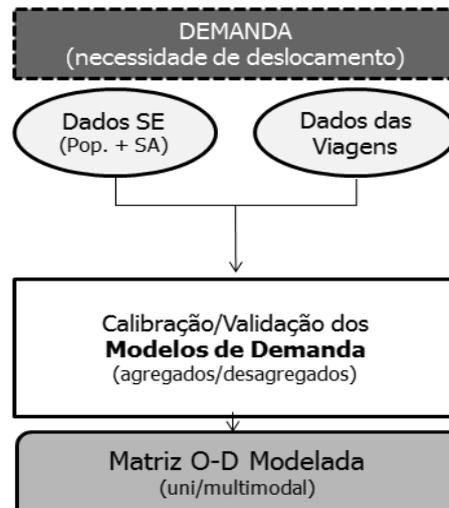


Segundo Immers (1998), um modelo é uma representação simplificada de uma parte da realidade. A representação feita por esses modelos pode ser concreto-física ou abstrata. Dentre os modelos físicos, destacam-se os modelos de bancada (em escala). Os modelos de transportes são modelos abstratos e, mais especificamente, os modelos de tráfego são modelos abstratos matemáticos. A tendência nos últimos anos tem sido desenvolver modelos dinâmicos, que buscam maior adequação a situação real de tráfego.

A demanda por transportes representa a escala em que os serviços de transportes são requeridos/utilizados. Pode ser representada a partir do uso de modelos, que buscam representar uma série de escolhas que são feitas por consumidores individuais de transporte (IMMERS, 1998). As opções feitas pelos consumidores individuais dependem de (IMMERS, 1998): (i) Escolher se quer ou não viajar; (ii) Escolha do tempo de saída; (iii) Escolha do destino; (iv) Escolha do modo de transporte; (v) Escolha da via utilizada.

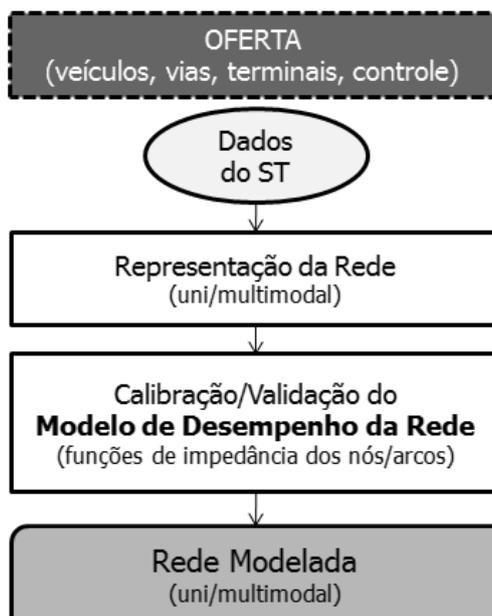
Segundo Ortúzar e Willumsen (2011), o processo de modelagem da demanda se inicia com a coleta de dados socioeconômicos e dados relativos às viagens realizadas, para que o modelo possa ser devidamente calibrado e validado. O resultado do modelo é, costumeiramente, agrupado em uma tabela bi-dimensional denominada matriz origem – destino (matriz O/D), como apresentado na Figura 3.2:

Figura 3.2 - Representação esquemática da modelagem da demanda por transportes
(LOUREIRO, 2011)



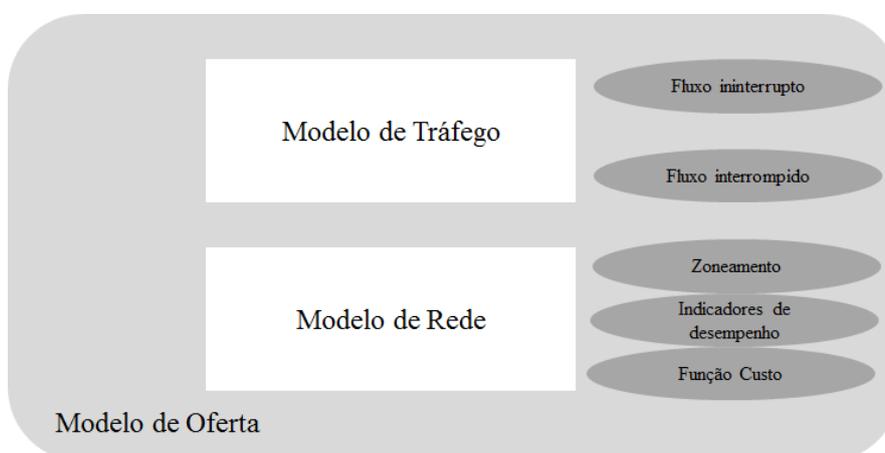
Por outro lado, a oferta de transporte é um serviço e não um bem, por conta disso, não é possível armazená-lo, como em situações de maior procura (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 2011). Para que o benefício de um serviço de transporte seja completamente utilizado, ele deve ser consumido onde e quando ele é produzido, do contrário ele é perdido. Por conta disso, a estimativa de demanda deve ser analisada com a maior precisão possível, com vistas à otimização do uso de recursos, adequando a oferta do serviço a ela. Em um sentido amplo, a oferta de transportes consiste na combinação entre a infraestrutura necessária para o tráfego de pessoas e veículos e o conjunto de regras para o seu funcionamento, isto torna possível à circulação de pessoas e bens (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 2011). A Figura 3.3 representa o esquema da modelagem da oferta por transportes.

Figura 3.3 - Representação esquemática da modelagem da oferta por transportes (LOUREIRO, 2011)



Segundo Cascetta (2009), modelos de oferta de transporte combinam modelos da teoria do fluxo de tráfego e modelos da teoria de fluxo de rede. Modelos derivados da teoria de fluxo de tráfego simulam os efeitos das interações entre veículos que utilizam a mesma instalação de transporte (ou o mesmo serviço) ao mesmo tempo. Neste caso, os indicadores de desempenho do sistema podem ser representados pelo tempo de viagem de acordo com comprimento da via; velocidade; ou tempo de espera em uma parada de ônibus, em função dos *headways* da frota de ônibus. A representação do modelo de oferta pode ser visto na Figura 3.4.

Figura 3.4 - Representação modelo de oferta (Adaptado de Cascetta, 2009)



A relação entre o produto do modelo de demanda e o produto do modelo de oferta, aliada a um modelo de tráfego, contribui para estimativa das emissões, desde que devidamente associada a um modelo de emissões (CAPIELLO, 2002).

Considerando a análise apresentada neste trabalho, serão analisados com maior detalhamento os veículos urbanos de carga (VUC's), estabelecidos pelo Poder Municipal de Fortaleza, em 06 de Novembro de 2012, por meio de Diário Oficial do Município, estabelecidos da seguinte forma: largura máxima 2,20 m, comprimento total máximo 7,30 m, altura total máxima incluindo a carga 4,40 m e peso bruto total máximo de 10 ton. Tal medida foi proposta como uma forma de mitigar os efeitos que os veículos transportadores de carga causavam no tráfego em áreas adensadas da cidade, buscando-se minimizar efeitos de congestionamento, por exemplo. Contudo, não há indícios que tal medida tenha sido tomada seguindo um criterioso estudo.

3.1.1 – Modelos de Tráfego

Os modelos de tráfego podem ser classificados por características relativas à flexibilidade do tráfego, como modelos de fluxo ininterrupto e de fluxo interrompido (ARAÚJO, 2003):

- a. Modelos de fluxo ininterrupto assumem que não existem causas fixas de atrasos ou interrupções externas na corrente de tráfego. Tais modelos são adequados para representar *freeways* e rodovias rurais;
- b. Modelos de fluxo interrompido consideram a existência de obstáculos fixos que causam bloqueios temporários e periódicos na corrente de tráfego. Modelos de interseções, modelos de otimização semaforica e demais modelos de redes urbanas constituem um exemplo.

No caso particular deste trabalho, por tratar de uma análise em área urbana, os modelos de fluxos interrompidos tornam-se mais adequados para representar as relações de tráfego.

Os modelos de tráfego também se dividem por níveis de representação, podendo ser macroscópicos, mesoscópicos e microscópicos.

3.1.1.1 – Modelos Macroscópicos

Os modelos macroscópicos abordam as interações do tráfego com um baixo nível de detalhamento, a descrição do tráfego do sistema é baseada nas relações entre velocidade, fluxo e densidade. Por tratar-se de uma escala maior de rede, este tipo de modelo não consegue representar as interações entre os veículos, fornecendo uma representação mais agregada quando comparada aos modelos meso e microscópicos.

Araújo (2003) ressalta que os modelos macroscópicos possuem relações diretas entre seus dados de entrada e seus dados de saída, proporcionando ao usuário maior domínio sobre os resultados obtidos. Assim, observa-se maior simplicidade nas práticas de calibração de modelos macroscópicos, em comparação aos modelos microscópicos.

Quanto à aplicação da modelagem macroscópica, Lieberman e Rathi(1997) apontam que o uso deste tipo de modelagem é indicado quando:

- Não há a necessidade de análise das interações entre os veículos ou quando os elementos em estudo não são expressivamente sensíveis;
- A rede analisada é extensa o suficiente para a não utilização da modelagem microscópica;
- Há restrições de tempo e recursos para a realização da modelagem.

Como exemplos de modelos macroscópicos, pode-se mencionar TransCAD, EMME/2, TRIPS, TRANSPLAN, AIMSUN e PASSER.

3.1.1.2 – Modelos Mesoscópicos

Os modelos mesoscópicos apresentam aspectos comuns aos modelos macro e microscópicos, seu nível de agregação é classificado como intermediário. Eles conservam certo nível de desagregação na representação do sistema, em comparação aos modelos microscópicos. Por exemplo, no caso da representação de mudanças de faixas, elas podem ser simuladas para cada veículo, mas a decisão baseia-se, de forma agregada, em densidades de faixa, e não nas relações individuais entre os veículos (LIEBERMAN e RATHI, 1997).

Segundo Portugal (2005), a simulação mesoscópica proporciona uma modelagem onde os veículos são reunidos em pelotões de tráfego. A abordagem dos veículos é realizada desta maneira quanto a tamanho, localização, velocidade e aceleração. Por apresentar estas características, os modelos mesoscópicos, geralmente, são empregados em redes semaforicas com o objetivo de representar o comportamento destes pelotões de tráfego ao longo do tempo e do espaço (TRB, 2000).

Como exemplos de modelos mesoscópicos, pode-se citar TRANSYT, SCOOT, TransCAD, SATURN e AIMSUN.

3.1.1.3 – Modelos Microscópicos

Os modelos microscópicos descrevem os veículos e suas interações de forma individualizada e seus resultados de saída são os mais detalhados possíveis, em comparação aos modelos meso e macroscópicos. Este tipo de modelo, por oferecer um nível mais alto de detalhamento, exige maior número de dados de entrada em relação aos outros modelos, maior aparato computacional e mais tempo para a realização da simulação.

De acordo com Maia (2007), neste tipo de modelagem, as variáveis relevantes na estimação das medidas de desempenho da rede simulada, são registradas de forma desagregada para cada veículo. Cada veículo da simulação é rastreado, desde o momento que ele aparece na rede até o momento de chegada em seu destino. Assim, a modelagem macroscópica consegue proporcionar resultados mais precisos.

Na modelagem microscópica, o tráfego dos veículos ao longo dos *links* da rede é controlado basicamente por três submodelos: perseguição veicular (*car-following*), mudança de faixa (*lane-changing*) e aceitação de brechas (*gap-acceptance*) Astaritaet al (2001). Todos estes submodelos possuem parâmetros que os descrevem e que precisam ser calibrados. Portanto, o procedimento de calibração deste tipo de modelo demonstra mais complexidade.

Podem ser citados como modelos microscópicos, VISSIM, AIMSUN, INTEGRATION, PARAMICS, NETSIM, DRACULA, CORSIM e TRANSMODELER.

3.2 - INTEGRAÇÕES ENTRE MODELOS DE EMISSÃO E MODELOS DE TRÁFEGO

Para a análise das emissões de poluentes médias de cenários em maior escala, dados mais agregados podem ser utilizados, como o uso apenas da informação da velocidade média dos veículos, sendo esta obtida através de pesquisas de velocidade da área escolhida, sem a necessidade de programar o modelo de tráfego para a obtenção do comportamento específico de cada veículo.

Os modelos dinâmicos de emissão apresentam níveis mais detalhados (desagregados) na disponibilização dos dados, sendo necessários dados de entrada mais robustos para sua utilização, como condições de tráfego, aceleração e desaceleração e características do veículo. Em função disso, modelos de emissão podem ser convenientemente integrados a modelos de tráfego, facilitando a aquisição dos dados de entrada do modelo, como velocidade e aceleração dos veículos, que são os principais dados de entrada dos modelos de emissão.

Na presente dissertação serão analisados três modelos de emissão, integrados a três modelos de simulação de tráfego. Todos os modelos estudados estão disponíveis para desenvolvimento de pesquisas no Grupo de Pesquisa em Transporte, Trânsito e Meio Ambiente – GTTEMA, da Universidade Federal do Ceará. A sequência de itens traz as análises sobre os modelos em questão.

3.2.1. Integração entre o modelo de tráfego VISSIM e o modelo de emissão EnViver

O VISSIM é um modelo microscópico de tráfego, desenvolvido pela PTV (*Planung Transport Verkehr*), que considera o comportamento dos condutores com o passar do tempo, capaz de modelar operações de tráfego urbano e rodoviário, com ferramentas mais robustas para situações de trânsito e condições adversas de tráfego.

Segundo Chen *et al* (2006), o simulador VISSIM, diferente de simuladores baseados em velocidade média, leva em consideração o comportamento dos condutores, por exemplo, a velocidade desempenhada pelo veículo, dependendo da distância entre os veículos, eles podem acelerar ou desacelerar para a manutenção da velocidade desejada, levando em consideração o espaço mínimo considerado entre os veículos.

Resumidamente, o simulador VISSIM é capaz de considerar as condições de tráfego reais, em microescala, de acordo com o comportamento individual dos condutores.

Para a implementação da rede no simulador VISSIM, são necessários, essencialmente, dois tipos de dados de entrada: dados relativos à infraestrutura, como o começo e fim dos links, comprimento das vias, largura, número de faixas entre outras; dados relativos às condições de operação dos veículos, como volumes de tráfego que entram e saem de cada link, rota de transportes públicos, normas de prioridades de entrada na via, entre outras (dados que podem ser coletados em campo).

O modelo de emissão foi executado em cerca de 12.500 medições em 3.200 veículos. O modelo Versit + é particularmente adequado para cálculos de emissão em simulações de tráfego produzidos por modelos de tráfego microscópicos.

O módulo de emissões EnViver (*Environment Vissim and Versit+*) foi implementado, baseado no modelo de emissões microscópico VERSIT+, que por sua vez, apresenta os modelos “VERSIT+LD” (para veículos leves) e VERSIT+HD (para veículos pesados), sendo o segundo baseado no modelo de emissão PHEM (e podendo ser acoplado ao microssimulador de tráfego).

Segundo North e Hu (2012), o modelo de emissão de poluentes VERSIT+ foi desenvolvido pela empresa *Netherlands Organization of Applied Scientific Research* (TNO), em Delft, na Holanda. É um modelo estatístico de emissão capaz de calcular valores de CO, NO_x e materiais particulados. Os tipos de veículos considerados no modelo são:

- Veículos leves;
- Ônibus;
- Veículos de carga médios (acima de 3,5 toneladas e com dois eixos);
- Veículos de carga pesados (acima de 20,0 toneladas com três ou mais eixos).

O modelo é capaz de estimar emissões em condução urbana ou rodoviária, onde foram validadas em veículos de uso comum holandês, as emissões são expressas como uma função dada pela seguinte fórmula:

$$E_{\text{trans}} = E_{\text{QS}} + P_{\text{Rated}} \cdot F_{\text{trans}} \quad (6)$$

Onde E_{trans} é o valor das emissões em condições de regime transiente (g/h), E_{QS} é o valor das emissões em estado estacionário (regime permanente, em g/h), P_{Rated} é a potência do motor (kW) e F_{trans} é a função de correção dinâmica (g/h/kw). A função de correção dinâmica foi construída em virtude da diferença dos valores de emissão observados em experimentos estáticos e análise dinâmica de emissões. A função de correção dinâmica é apresentada na equação 7a:

$$F_{\text{trans}} = - 1,06 \cdot T_1 - 0,534 \cdot T_2 + 5,57 \cdot T_3 \quad (7)$$

Onde T_1 , T_2 e T_3 são os parâmetros transientes (calculados a partir da velocidade e força do motor), específicos para cada tipo de poluente, conforme apresentado nas tabelas 3.1a, 3.1b e 3.1c:

Tabela 3.1a - Fatores transientes para a correção de NO_x

NO_x	T_1	T_2	T_3
Euro 0	0,180	-0,290	-1,800
Euro 1	0,151	-0,303	-1,994
Euro 2	0,151	-0,303	-1,994
Euro 3	1,051	-0,289	-1,488
Euro 4	1,051	-0,289	-1,488
Euro 5	1,051	-0,289	-1,488

Tabela 3.1b - Fatores transientes para a correção de CO

CO	T_1	T_2	T_3
Euro 0	3,982	0,375	-0,104
Euro 1	3,982	0,375	-0,104
Euro 2	3,982	0,375	-0,104
Euro 3	3,190	0,238	-0,0908

Euro 4	3,190	0,238	-0,0908
Euro 5	3,190	0,238	-0,0908

Tabela 3.1c - Fatores transientes para a correção de Materiais Particulados

MP	T ₁	T ₂	T ₃
Euro 0	0,525	-0,0153	0,442
Euro 1	0,525	-0,0153	0,442
Euro 2	0,525	-0,0153	0,442
Euro 3	0,141	-0,0099	-0,584
Euro 4	0	0	0
Euro 5	0	0	0

Pode – se observar pelas tabelas 3.1a e 3.1b (relativas à CO e NO_x) que a partir dos modelos de veículos com padrão EURO 3 os fatores permanecem inalterados, podendo – se concluir que, para o modelo, não há diferença nas emissões desses poluentes, já a tabela 3.1c (que apresenta os fatores para materiais particulados), apresenta fatores nulos para veículos que seguem os padrões EURO 4 e 5, logo, as emissões de Materiais Particulados em regime transiente são matematicamente iguais as emissões em regime estacionário, segundo o modelo (HAUSBERGER *et al*, 2003).

3.2.2. Integração entre o modelo de tráfego AIMSUM e o modelo de emissão Panis *et al*:

O AIMSUM (*Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-urban Networks*) é um simulador capaz de modelar redes de diferentes tipos de tráfego, em níveis macro, meso ou microscópicos. Seu algoritmo disponibiliza a análise das características de condução de cada veículo da rede individualmente, como mudança de faixa e distância entre os veículos. Também disponibiliza informações acerca de pedestres, carros e caminhões (PANIS *et al*, 2006).

Diferentes tipos de vias podem ser modelados pelo simulador AIMSUM, como rodovias e vias arteriais, bem como os mais diversos tipos de situações de tráfego urbano. Os dados de demanda de tráfego podem ser inseridos de duas maneiras no

simulador: através de matrizes de origem/destino e através de volumes de tráfego para cada link da rede.

O simulador de tráfego AIMSUM apresenta nativamente em seu pacote o modelo Panis *et al* com temática ambiental, que apresenta dados relativos aos poluentes CO₂, NO_x, COV (Compostos Orgânicos Voláteis) e Materiais Particulados, ainda dispõe de ferramentas relativas a proporção do uso de combustíveis, que são a gasolina, diesel e gás natural veicular.

O modelo Panis *et al* é um modelo de emissão desenvolvido em 2006, para utilização integrada a modelos de simulação de tráfego. Baseado em medidas reais coletadas em veículos com instrumentos de verificação de emissão, em condições de tráfego reais (PANIS *et al*, 2006).

As funções das emissões de cada veículo são derivadas da coleta da velocidade e aceleração instantânea como parâmetros, utilizando técnicas de regressão não-linear múltipla, apresentada na equação (7):

$$E_n(t) = \max \left[E_0, f_1 + f_2 v_n(t) + f_3 v_n(t)^2 + f_4 a_n(t) + f_5 a_n(t)^2 + f_6 v_n(t) a_n(t) \right] \quad (8)$$

Onde $v_n(t)$ e $a_n(t)$ é a velocidade e aceleração do veículo n em um instante t . E_0 é o limite mínimo de emissão (em g/s), específico para cada veículo e tipo de poluente, f_1 a f_6 são as emissões constantes específicas de cada veículo e tipo de poluente determinada pela análise da regressão. Os compostos analisados no modelo são o NO_x, COV (compostos orgânicos voláteis), CO₂ e Materiais Particulados.

Segundo Panis *et al* (2006), os experimentos foram realizados em pico matinal de tráfego em área urbana, em baixas velocidades, não tendo sido validado para altas velocidades em fluxo livre. As observações foram em 25 veículos distintos, sendo 20 veículos leves, 3 ônibus e 2 caminhões, com milhares de observações analisadas, a partir das observações, foi construída a função apresentada na equação (8), demonstrando as diferenças das características dos tipos de veículos e tipos de combustíveis nos fatores f_1 a f_6 . Os dados coletados e estimados através da modelagem foram confrontados com as normas EURO 2. Para o poluente Dióxido de Carbono e Compostos Orgânicos Voláteis, em veículos leves apenas, foram calculados fatores (f_1 a f_6) diferentes para diferentes acelerações, devido a terem sido observados índices de

emissões claramente distintos para aceleração e desaceleração, sendo então influenciados diretamente pelo ciclo de condução imposto pelo condutor, contudo, para os quatro poluentes estimados em veículos pesados a diesel não foram observados níveis claramente distintos de emissões, tendo sido considerado fatores fixos para a função no que diz respeito a veículos de carga, apresentados na Tabela 3.2:

Tabela 3.2 - Valores dos fatores da função para veículos de carga a diesel. (Panis *et al*, 2006)

Poluente	E_0	f1	f2	f3	f4	f5	f6
CO ₂	0	1.52e+00	1.88e+00	-6.95e-02	4.71e+00	5.88e+00	2.09e+00
NO _x	0	3.56e-02	9.71e-03	-2.40e-04	3.26e-02	1.33e-02	1.15e-02
Compostos Orgânicos Voláteis	0	1.04e-03	4.87e-04	-1.49e-05	1.27e-03	2.10e-04	1.00e-04
Material Particulado	0	2.14e-04	3.35e-04	-2.22e-05	2.07e-03	1.80e-03	2.27e-04

Os valores iniciais das emissões (E_0) são considerados nulos, tendo então o fator f1 seu valor fixo no instante inicial, o fator f2 influencia positivamente o valor absoluto da velocidade e o fator f3 influencia negativamente o quadrado da velocidade, o que pode ser observado para os fatores dos demais veículos a diesel para todos os poluentes estimados. O fator f4 influencia positivamente o valor absoluto da aceleração e o fator f5 também influencia positivamente o quadrado da aceleração. O fator f6 influencia positivamente o produto da velocidade e aceleração no instante t para o veículo n.

Pode-se inferir do modelo, que para veículos de carga, quanto maior a aceleração do veículo n em um instante t, os níveis de emissão serão diretamente elevados, todavia com o aumento da velocidade a uma aceleração constante, os níveis de emissão podem diminuir, por causa do fator f3 negativo que multiplica o quadrado da velocidade. O modelo integrado apresenta como ponto negativo o fato de não ser possível alterar os parâmetros de calibração inseridos no AIMSUM, o que é crítico em termos de simulação. Outro fator negativo consiste no fato de o modelo ter sido calibrado seguindo a EURO 2, futuramente poderá acarretar divergências nas análises.

3.2.3. Integração entre o modelo de tráfego INTEGRATION e o modelo de emissão VT - Micro:

O simulador INTEGRATION foi desenvolvido no Canadá, na década de 80, inicialmente com o propósito de englobar em um único modelo um simulador de tráfego tanto para rodovias como para vias urbanas. Esta capacidade foi prevista para atender à necessidade dos planejadores em analisar cenários compostos por estes dois tipos de vias. Desde então, o INTEGRATION vem evoluindo e atualmente pode modelar sistemas inteligentes de tráfego e emissão de poluentes. Os atributos que o fazem único: a utilização da mesma lógica do fluxo de tráfego na representação das vias com e sem interrupção de tráfego, e as características microscópicas, integradas e dinâmicas dos componentes do tráfego (VAN AERDE et al., 1996). No INTEGRATION, o fluxo de tráfego é representado como uma série de veículos individuais, com um modelo de desempenho específico, os quais seguem uma corrente de tráfego com comportamento macroscópico previamente definido (VAN AERDE et al., 1996).

Para o funcionamento do INTEGRATION são necessários arquivos de entrada de dados, sendo cinco de preenchimento obrigatório – arquivos de nós, de tramos, de demandas, de semáforos e de incidentes – e quinze arquivos opcionais, tais como: de utilização de faixas, de detectores, de paradas de ônibus, de greides e de características veiculares (RAHKA, 2002).

Os arquivos de saída que podem ser obtidos da simulação incluem: arquivos de erros, de estatísticas gerais, de condições médias de tráfego e de estatísticas de tráfego em intervalos de tempo predefinidos (RAHKA, 2002). O simulador de tráfego INTEGRATION apresenta nativamente em sua lógica o modelo dinâmico de emissão VT – Micro. Segundo Rakha *et al* (2004), o modelo VT-Micro foi desenvolvido no início dos anos 2000, a partir de experiências com inúmeras combinações de polinômios dos níveis de velocidade e aceleração, tendo sido comparados com resultados de testes realizados através de dinamômetro, ou seja, testes estáticos de velocidade e aceleração, capaz de prever o consumo de combustíveis e emissões dos poluentes NO_x , HC e CO. É um modelo de regressão, em que os termos lineares, quadráticos, cúbicos e quárticos de velocidade e aceleração foram realizados com dados coletados no dinamômetro. O modelo final só utilizou os termos lineares, quadráticos e cúbicos de velocidade e aceleração, pois apresentavam dados que melhor se ajustavam aos dados originais

($R^2 \geq 0,92$). Os dados são disponibilizados através da equação (9), onde MOE e (medida de efetividade, do inglês “*measure of effectiveness*”) representa o consumo de combustível ou níveis de emissão (l/s no caso do combustível ou mg/s no caso das emissões), $K^e_{i,j}$ é o coeficiente do modelo de regressão para MOE e a uma velocidade “i” e aceleração “j”, u é a velocidade instantânea em km/h e a é a aceleração instantânea em km/h/s.

$$MOE_e = e^{\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 (K^e_{i,j} \cdot u^i \cdot a^j)} \quad (9)$$

Os valores dos coeficientes do modelo de regressão apresentam valores diferentes para acelerações instantâneas positivas e negativas, tornando a equação (9) em duas equações (9a e 9b):

$$MOE_e = e^{\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 (L^e_{i,j} \cdot u^i \cdot a^j)} \quad (\text{para } a \geq 0) \quad (9a)$$

$$MOE_e = e^{\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 (M^e_{i,j} \cdot u^i \cdot a^j)} \quad (\text{para } a < 0) \quad (9b)$$

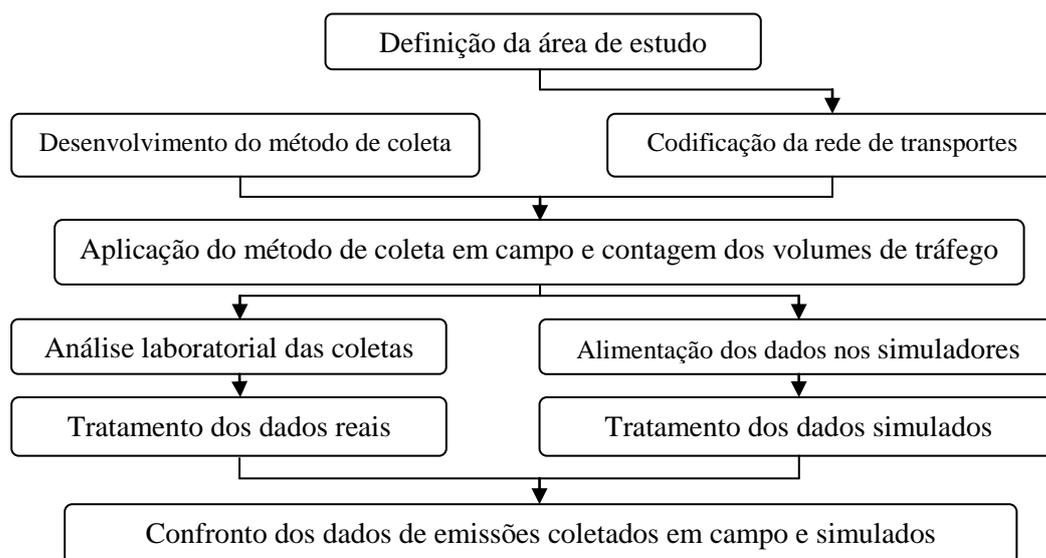
Os coeficientes “K” e “L” de determinação dos índices de emissões dos três poluentes estimados, ou seja, para NO_x , HC e CO e de consumo de combustível fixaram em um intervalo entre 0,69 e 0,99, tendo sido computados através do cálculo dentro da equação e correlacionados com os valores obtidos através dos experimentos, e não da regressão em si. Os resultados estatísticos apresentaram índices de correlação para consumo de combustível de $R^2 = 0,995$, NO_x de $R^2 = 0,960$, HC de $R^2 = 0,689$ e CO $R^2 = 0,717$. As correlações dos poluentes HC e CO apresentaram índices de correlação menos precisos, o que pode acarretar em erros quando comparado com estudos reais.

CAPÍTULO 4

DETALHAMENTO DA PROPOSTA

Para atingir os objetivos estabelecidos no trabalho, a metodologia proposta se baseia no comparativo entre os dados reais, coletados em campo, de emissões provenientes de veículos transportadores de carga em área urbana e os dados de emissão obtidos através do uso de modelos de emissão integrados a simuladores de tráfego. A presente pesquisa tomará por base uma área piloto para estudo de caso. A escolha de tal região segue alguns critérios: (i) apresente significativo volume de tráfego; (ii) possua pólos de atração ou produção de viagens, relacionadas com a distribuição de cargas; e (iii) esteja sujeita a medidas restritivas à circulação de veículos de transporte de mercadorias. Nessa área será inserido um veículo transportador de carga urbano que será analisado, com vistas a estudar os impactos resultantes do tráfego, em termos de emissão de poluentes; além disso, verificar-se-ão os efeitos das variações de tecnologia de veículos de distribuição de carga em termos de emissão. O estudo está dividido em duas etapas paralelas: (i) coleta de dados em campo: desenvolvimento da metodologia de coleta de emissões e volume de tráfego; e (ii) simulações: preparação dos simuladores de tráfego, para que posteriormente os dados reais e simulados sejam confrontados. Em complementação, haverá uma sub etapa que consiste em análise laboratorial e tratamento dos dados coletados em campo, garantindo com que os dados possam ser analisados e confrontados com os valores resultantes das simulações.

Para tanto, no presente capítulo será descrito o método proposto para atingir os objetivos da pesquisa, sintetizado pelo fluxograma apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1 - Fluxograma do detalhamento da proposta para os objetivos da pesquisa

4.1. DEFINIÇÃO DA REDE DE TRANSPORTES UTILIZADA NO EXPERIMENTO

Será analisada como área de estudo uma região adensada populacionalmente e que concentra quantidade significativa de comércios e serviços, o que resultaria na movimentação de carga. Além disso, espera-se que a área apresente a presença constante de congestionamentos de automóveis e circulação de pessoas que podem ser expostas às emissões. A ideia é que, com tais critérios, seja possível avaliar uma região “crítica”, que cause a solicitação dos veículos e a exposição das pessoas. Para avaliar a questão do congestionamento, será levada em consideração a presença de laço detectores (controlados pelo órgão responsável, Controle de Tráfego em Área de Fortaleza, CTAFOR) para a estimação prévia de fluxos de tráfego para o estudo de horários em que ocorram maiores fluxos, visando analisar a rede sob diferentes perspectivas, no que diz respeito ao comportamento dos fluxos veiculares.

4.2. CODIFICAÇÃO DA REDE DE TRANSPORTES

A rede selecionada será codificada nos simuladores, seguindo as metodologias e condições de codificação próprias de cada um dos simuladores avaliados, para efeitos de comparação com os dados que serão coletados em campo. Os simuladores de tráfego AIMSUN, INTEGRATION e VISSIM serão utilizados para realizar as análises. São ferramentas largamente empregadas em estudos de tráfego (Barceló, 2010) Além disso, tais ferramentas estão disponíveis para estudos no grupo de

pesquisa onde se desenvolveu o presente trabalho. Ademais, o fator crucial para escolha dos três simuladores de tráfego é que os mesmos apresentam características necessárias para o estudo em questão, como: (i) ser capaz de realizar a simulação de tráfego em micro escala (microsimular); (ii) ter ferramentas de simulação que permitam considerar as particularidades do veículo analisado (no caso, veículos de carga); (iii) apresentar nativamente em suas lógicas de simulação a possibilidade de aplicação de modelos de emissão.

A rede codificada em todos os simuladores deverá apresentar as mesmas características para que os dados de emissão tenham aderência quando confrontados, como: comprimento das vias, número de faixas, intervalo semafórico, entre outras. A única diferença aceitável será em termos da entrada dos dados, ou método para codificação.

Para o detalhamento das vias nos simuladores VISSIM e AIMSUN, serão utilizadas fotografias retiradas de um programa que coleta imagens aéreas via satélite, Google Earth, onde serão consideradas as dimensões reais do cenário analisado, como: dimensões (comprimento e largura) das vias, número de faixas e movimentos. Com a imagem coletada é possível codificar a rede nesses dois simuladores através da sobreposição das imagens construídas nos programas.

Para o detalhamento das vias no simulador INTEGRATION não é possível codificar a rede através de sobreposição de imagens, tendo em vista que a tecnologia deste simulador é anterior as demais, desta forma utiliza-se desenhos de seus links e nós provenientes de um ambiente do tipo CAD (*.dwg), onde podem ser exportados os dados com as coordenadas e dimensões reais da rede, de forma a empreender a codificação do simulador com as dimensões apropriadas/reais.

4.3. DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DE COLETA DAS EMISSÕES EM CAMPO

O método de coleta que será aplicado no presente estudo deverá apresentar a possibilidade de ser transportado pelo veículo analisado, por se tratar de um estudo dinâmico de emissões, ou seja, o equipamento que realizará a coleta estará embarcado no veículo.

O método de coleta deverá ser capaz de realizar análises instantâneas dos poluentes emitidos, considerando os ensaios realizados na fase P-7 onde é aplicado o ciclo E.T.C. (Ciclo Europeu em Regime Transiente), onde a análise é realizada segundo a segundo.

Como o estudo visa coletar poluentes provenientes de veículos equipados com motor diesel, faz-se necessário que a metodologia seja capaz de coletar materiais particulados, em virtude da quantidade deste tipo de poluente desprendida por motores ciclo diesel. As partículas derivadas de veículos a diesel, em sua maioria, são inaláveis – ultrafinas, apresentado potencial de impactos na saúde humana.

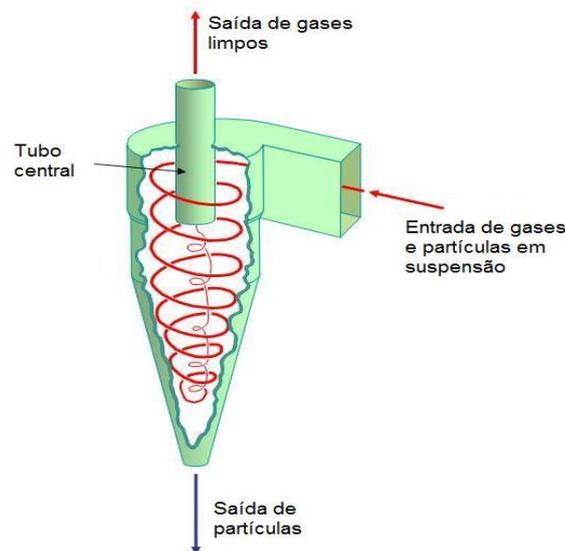
Considerando os materiais particulados, a coleta será realizada utilizando filtros de celulose, capazes de reter partículas com diâmetros até $10\ \mu\text{m}$, considerados nocivos à saúde humana e que podem causar danos à infraestrutura (fiação, vias, monumentos, dentre outros) exposta a sua presença. Partículas entre $5\text{e }10\ \mu\text{m}$ são retidas naturalmente pelo trato respiratório dos seres humanos, mas podem causar danos à infraestrutura. Já partículas com diâmetro inferior a $5\ \mu\text{m}$ são capazes de trazer danos a saúde humana. Para portar o filtro de celulose sem que haja contaminação por compostos indesejados, um cassete (equipamento utilizado para portar filtros, com capacidade de impor uma vazão de fluido de entrada e de saída) será utilizado. Contudo, os instrumentos cassete comumente comercializados apresentam baixa capacidade de vazão e são confeccionados em acrílico, como ilustrado na Figura 4.2, não apresentando capacidade de resistir a altas temperaturas, como no caso do experimento em questão. Por se tratar de coletas diretas do escapamento do veículo, altas temperaturas serão impostas ao equipamento, logo, faz-se necessária a adaptação de um equipamento que seja capaz de suportar maior vazão do fluido, bem como a capacidade de resistir termicamente ao fluxo sem se deformar.

Figura 4.2 - Exemplo de porta filtro (cassete) comercializado



O filtro de celulose será utilizado para reter os particulados liberados no escapamento, contudo, é importante conhecer as quantidades e proporções do tamanho de partículas, para isso será construído um equipamento capaz de realizar a separação de partículas de até $10\ \mu\text{m}$. Um ciclone (equipamento capaz de realizar separação de partículas) é proposto, considerando as particularidades do sistema em que estará submetido, tais como: gradiente de temperatura, fluxo do fluido, diâmetro de partículas consideradas. O ciclone é ilustrado, genericamente, na Figura 4.3.

Figura 4.3 - Representação de um ciclone genérico do tipo Lapple



Em conjunto ao uso do ciclone, no que diz respeito à separação dos particulados, será utilizado um segundo equipamento capaz de realizar a contagem de partículas. Trata-se de um contador eletrônico de partículas, aparelho capaz de informar as quantidades de partículas em diferentes diâmetros, até $10\ \mu\text{m}$.

Para a análise dos demais poluentes, tais como: Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrogênio será utilizado um equipamento analisador de partículas capaz de verificar as emissões em partes por milhão (ppm) e percentual da vazão de fluido.

O fluxo será coletado perpendicularmente à vazão do escapamento do veículo, com o objetivo de manter a vazão coletada constante e conhecida. Para tanto, será utilizada uma bomba a vácuo capaz de succionar o gás com essas características. A alimentação elétrica da bomba será feita por um inversor de corrente conectado diretamente a bateria do veículo, sendo capaz de converter a corrente contínua gerada pelo veículo em corrente alternada.

Um equipamento medidor de volume de gás (gasômetro) será também adaptado ao sistema embarcado, com vistas à identificação exata da quantidade de gás que foi succionada.

Desta forma, o sistema para coleta de emissão empregado por este trabalho será composto por: tubo extensor do escapamento, para que o fluxo possa ser coletado na carroceria do veículo; analisador de partículas; contador de partículas; ciclone; cassete; gasômetro; bomba de ar com vazão constante e conhecida. Em complementação, para redução da umidade do fluido coletado, será adaptado um recipiente preenchido com sílica, capaz de absorver parte da umidade do gás coletado.

4.4. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE COLETA EM CAMPO E CONTAGEM DOS VOLUMES DE TRÁFEGO

O sistema construído para a coleta embarcada de emissões será adaptado à carroceria do veículo, anexado a uma plataforma para maior facilidade de manuseio.

O veículo analisado percorrerá o trecho selecionado simulando um percurso comum, sendo manobrado por um condutor profissional, com um comportamento idêntico ao habitual realizado em sua rotina de trabalho.

O filtro de celulose será introduzido no cassete imediatamente no início do percurso, onde será ligada a bomba de gás. Ao término do percurso a bomba será desligada, parando a coleta, com o objetivo de obter exclusivamente os poluentes provenientes do escapamento durante o trecho estudado. Os filtros são coletados do

interior do cassete, sem contato manual, após a finalização do circuito e armazenados em placas de Petri limpas e secas, para posterior análise em laboratório dos particulados retidos. Tal procedimento garante que não haverá contaminação externa.

Para a coleta da velocidade média e instantânea do veículo, utiliza-se um equipamento de monitoramento de posicionamento global (GPS), capaz de registrar exatamente as velocidades impostas pelo veículo a cada ponto do percurso, registrados a cada 10 segundos.

Simultaneamente as coletas de emissões de poluentes com a metodologia embarcada, realizam-se filmagens nos cruzamentos do percurso escolhido, com o objetivo de posterior análise para obtenção das contagens veiculares, classificatórias, considerando veículos automóveis, ônibus e caminhões, e divididas em intervalos de 15 minutos. As filmagens serão posteriormente analisadas e tratadas para alimentar os dados de volume nos simuladores de tráfego.

O experimento se repete ao longo de períodos de tempo que representarem, para a área de estudo, condições de tráfego baixa, normal e elevada. Tal suposição possibilitará avaliar a variação das emissões em termos de variação da intensidade do tráfego. Em complementação, serão coletadas emissões provenientes de três tipos de veículos transportadores de carga: (i) VUC, veículo estabelecido por norma e que possui livre circulação pela cidade de Fortaleza; (ii) VUC *limite*, trata-se de veículo com as dimensões limites superiores do VUC; e (iii) não-VUC, padrão de veículo com dimensões superiores e fora padrão VUC, que atualmente possuem limitação de circulação em algumas áreas da cidade de Fortaleza, mas que são comuns em algumas operações, tais como coleta de resíduos e transporte de materiais e equipamentos de construção. Destaca-se que para avaliação do último padrão de veículo, foi solicitada autorização de trânsito junto ao órgão de transporte e trânsito local. A ideia de tal comparação é avaliar, em termos de emissão, qual efeito da diferença tecnológica dos veículos de carga.

4.5. ANÁLISE LABORATORIAL DAS COLETAS DE EMISSÕES

Posteriormente a realização das coletas de emissões com o dispositivo embarcado no veículo, os equipamentos serão analisados em laboratório. Assim, os filtros de celulose, anteriormente a coleta em campo, serão pesados e depois de secos

(com o auxílio de dessecador). Após a coleta, os filtros impregnados serão acondicionados e, em laboratório, novamente pesados. Com isso, há uma primeira análise, no que se refere à diferença de massa, para que posteriormente seja feito o cálculo de particulados retidos em suas fibras.

Com as massas de particulados retidos nos filtros coletadas, serão observadas as proporções de diâmetro de partículas observadas no contador de partículas, possibilitando o cálculo em massa de cada faixa de diâmetro dos particulados, até 10 μm .

A análise dos demais poluentes considerados no estudo será feita por meio do equipamento analisador de partículas. Cada componente será apresentado em partes por milhão ou percentual.

4.6. TRATAMENTO DOS DADOS REAIS DE EMISSÃO

Os dados em massa coletados através das pesagens dos filtros de celulose serão relacionados com as proporções medidas pelo contador de partículas, posteriormente relacionando as proporções de cada tamanho de partícula (0,3 a 10 μm) com a densidade nominal do diesel, consumo médio do veículo considerado e a velocidade instantânea desenvolvida a cada ponto do percurso, sendo então possível realizar o cálculo das emissões em gramas a cada segundo de trajeto. Com os dados levantados em gramas por segundo é possível realizar a conversão para gramas por quilômetro e também para gramas por quilowatt-hora, conhecendo o poder calorífico inferior do diesel (encontrado na literatura).

Os dados encontrados instantaneamente pelo analisador de partículas, referentes aos demais poluentes estudados, também serão considerados a cada coleta de velocidade realizada pelo GPS, para que o cálculo em gramas por segundo possa ser feito, analogamente ao cálculo dos particulados, bem como em gramas por quilômetro e por fim em gramas por quilowatt-hora.

O analisador eletrônico de partículas portátil é um instrumento capaz de medir gases de combustão (como CO, CO₂, NO_x, SO₂, entre outros), além de eficiência de combustão, excesso de ar e velocidade dos gases. Os dados coletados pelo analisador de partículas ficam armazenados em sua memória interna, onde posteriormente são

transferidos para o computador e tratados de acordo com as necessidades do estudo. Um analisador eletrônico de partículas portátil é ilustrado na Figura 4.4.

Figura 4.4 - Analisador eletrônico de partículas portátil Greenline 8000



Os equipamentos eletrônicos (como o gasômetro, bomba de ar, contador de partículas, analisador de partículas) serão previamente analisados e calibrados, com o objetivo de obter resultados com maior precisão.

4.7. ALIMENTAÇÃO DOS DADOS NOS SIMULADORES DE TRÁFEGO

Além dos fluxos dos automóveis, ônibus e caminhões, será incluído um quarto tipo de veículo nas simulações: *veículo probe* (que poderá ser analisado isoladamente dos demais). Tal veículo será monitorado e serão levantadas (junto ao manual do fabricante) todas as características que o simulador permitir editar. Desta forma, servirá como objeto de análise para posterior comparação com os dados de emissão reais coletados através da metodologia desenvolvida.

4.8. TRATAMENTO DOS DADOS SIMULADOS

Os dados coletados nos simuladores serão levantados considerando todos os poluentes estimados em cada modelo e os tempos de viagem realizados pelo veículo probe.

No caso dos simuladores de tráfego AIMSUN e VISSIM, que são capazes de realizar simulações com diferentes efeitos aleatórios (como momento em que os veículos entram na rede, início de tempo de vermelho no semáforo, tempo de reação dos condutores, entre outros) serão consideradas simulações para cada cenário estudado.

Serão calculadas as médias dos dados de saída disponibilizados pelos simuladores para o confronto com os dados reais.

Para o simulador de tráfego INTEGRATION, será realizada apenas uma simulação para cada cenário considerado, pois o pacote de simulação presente no programa não é capaz de considerar efeitos aleatórios, sendo levantados apenas os dados observados em uma simulação, para cada percurso realizado.

4.9. CONFRONTO DOS DADOS DE EMISSÃO COLETADOS EM CAMPO E SIMULADOS

Após a realização da coleta e tratamento de todos os dados de emissão (reais e simulados), haverá o confronto estatístico dos mesmos com o objetivo de identificar a discrepância dos dados simulados com relação aos dados reais. Além disso, os dados reais coletados em campo serão analisados considerando os limites estabelecidos pelas resoluções do CONAMA, com o intuito de verificar se o veículo estudado respeita os limites de emissões estabelecidos por lei.

Para cada poluente estimado, em cada simulador, serão verificadas diferenças relativas e absolutas entre as emissões médias de cada percurso. Com isso, será verificado o simulador (ou simuladores) que mais se aproxima(m) dos dados coletados através da aplicação da metodologia, considerando a ausência de calibração dos simuladores.

Com a seleção do(s) simulador(es) mais próximo do valor real, serão realizadas simulações com outros veículos, com diferentes configurações de massa, motorização ou dimensões, para verificar se a implementação da lei que institui o VUC considerou as questões de emissões, e não somente relativas ao tráfego. Ademais, qual a diferença, em termos de emissão, que os veículos de carga com diferentes configurações podem apresentar.

Como último ponto, serão analisados cenários com diferentes carregamentos de tráfego, com o objetivo de verificar os impactos que um maior fluxo pode acarretar as emissões de um veículo inserido nesses cenários, com os diferentes carregamentos.

CAPÍTULO 5

EXPERIMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para que a proposta anteriormente apresentada possa ser verificada, faz-se necessário uma análise através da realização de testes experimentais. Serão apresentados a seguir, ponto a ponto, os tópicos sugeridos no detalhamento da proposta, descrevendo a realização experimental passo a passo da metodologia.

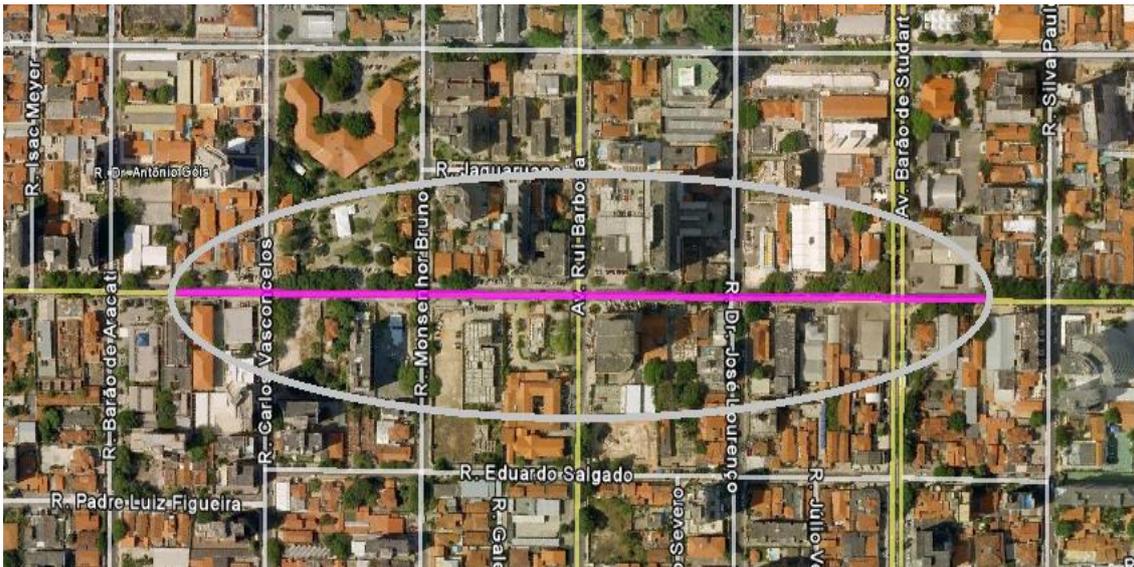
Em conjunto a realização dos experimentos será apresentada as análises dos resultados obtidos através dos mesmos.

5.1. DEFINIÇÃO DA REDE DE TRANSPORTES UTILIZADA NO EXPERIMENTO

Esta atividade buscou identificar a área a ser objeto de estudo. Considerando as condições impostas na metodologia da proposta para a seleção do trecho que será utilizado como objeto de estudo, juntamente a prévios estudos realizados por pesquisadores do Grupo de Pesquisa em Transportes, Trânsito e Meio Ambiente (GTTEMA, DET/UFC) é que foi selecionado o trecho para a análise das emissões.

Foi escolhida como área de estudo a Região da Aldeota, área adensada e que concentra grande quantidade de comércios e serviços, ou seja, há grande movimentação de carga urbana e presença constante de congestionamentos. Desta área selecionou-se um trecho da Av. Santos Dumont, compreendido entre as avenidas Carlos Vasconcelos e Barão de Studart, conforme destacado na Figura 5.1.

Figura 5.1 - Área de Estudo



Posteriormente a seleção do trecho a ser estudado, foi realizado um estudo volumétrico de tráfego com o objetivo de analisar os horários onde seriam verificadas as diferenças nos fluxos, juntamente ao órgão responsável pelo Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR).

A partir do controle do CTAFOR, em especial do sistema operacional Split Cycle Optimization Offset Time– SCOOT, usado para otimizar, em tempo real, planos semaforicos implementados nas interseções controladas, é que se obteve as informações prévias de volume de tráfego. O SCOOT determina estes planos com base em dados de tráfego coletados em campo por laços detectores, e enviados à central de controle por meio de linhas telefônicas privadas. Após o processamento pelo SCOOT, os dados são armazenados pelo software Automatic SCOOT Traffic Information Database (ASTRID), sub-sistema do SCOOT, gerando uma base de dados dinâmica com renovação contínua a cada 15 minutos, capaz de armazenar dados por no mínimo um ano (TRL, 2000).

No momento da pesquisa dos volumes (Fevereiro de 2014), o sistema ASTRID se encontrava com problemas nas coletas de volumes. Assim, considerou-se como parâmetro os dados armazenados na última coleta registrada até o período de estudos da presente pesquisa, que foi Outubro de 2013. Os dados foram tratados e estão

apresentados em histogramas (Figuras 5.2a, 5.2b e 5.2c), construídos a partir dos volumes coletados do dia 8 de Outubro de 2013, uma terça- feira, dia típico.

Figura 5.2a - Histograma de volumes de tráfego, Av. Santos Dumont com Carlos Vasconcelos, 08 de Outubro de 2013 (Fonte: CTAFOR, 2014)

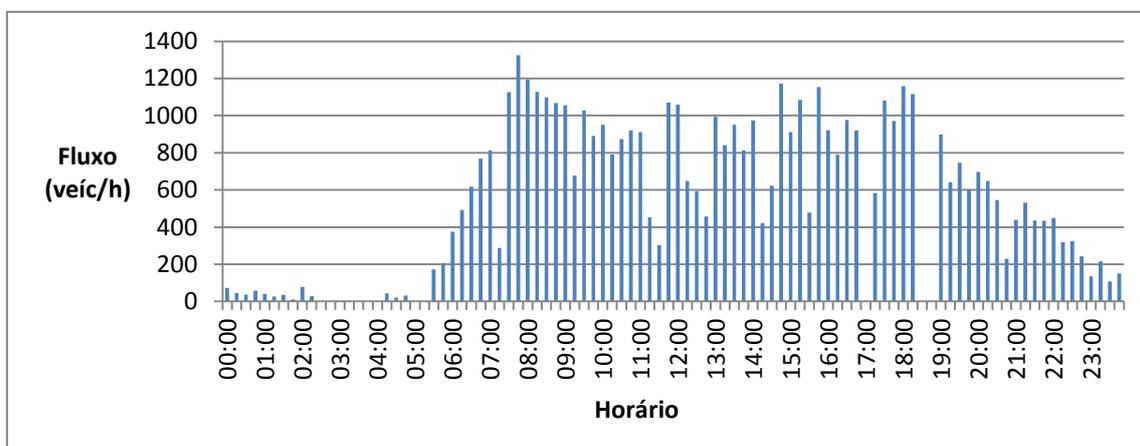


Figura 5.2b - Histograma de volumes de tráfego, Av. Santos Dumont com Rui Barbosa, 08 de Outubro de 2013 (Fonte: CTAFOR, 2014)

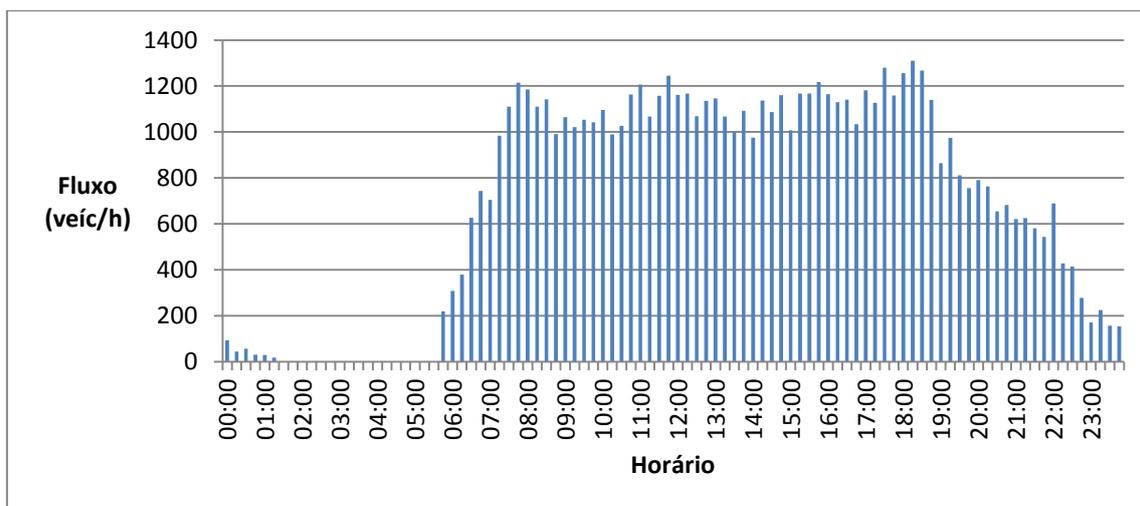
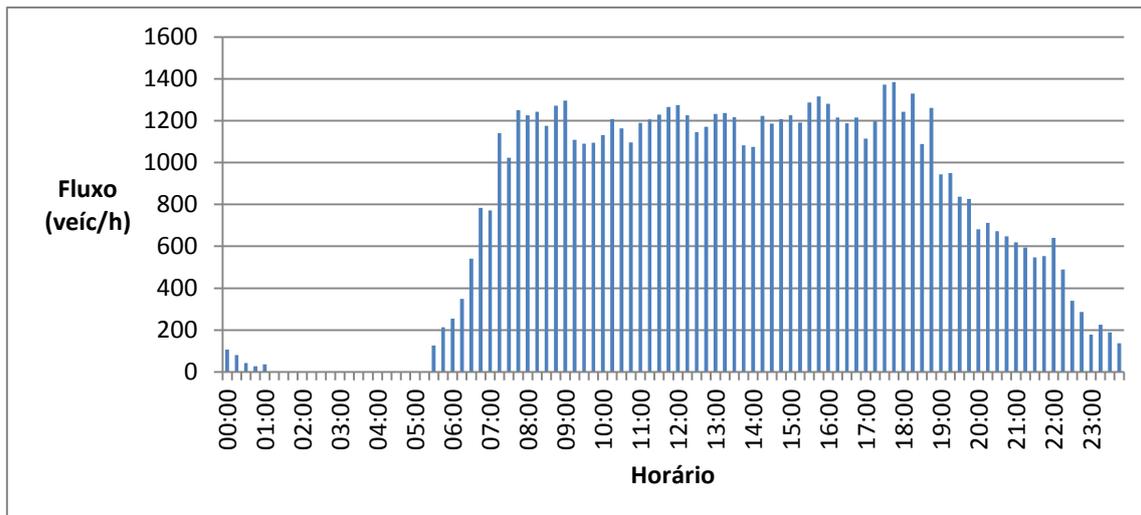


Figura 5.2c - Histograma de volumes de tráfego, Av. Santos Dumont com Barão de Studart, 08 de Outubro de 2013 (Fonte: CTAFOR, 2014)



Através dos histogramas é possível verificar que os horários de fluxos mais intensos são os do início do período da manhã (entre 07:00 h e 09:00 h) e do final do período da tarde (entre 17:00 h e 18:30 h). Optou-se por realizar as análises durante o período da manhã, em função das diferenças de volumes as 06:00 h (fluxo menos intenso) estarem próximas aos momentos de alto fluxo, bem como da disponibilidade junto as empresas de conseguir o empréstimo dos veículos de carga que foram empregados no experimento.

Em função dos veículos usados na pesquisa terem sido cedidos gratuitamente pelas empresas e para não acarretar maiores prejuízos ao calendário de entrega de mercadorias das mesmas, os testes foram realizados apenas no período da manhã.

5.2. CODIFICAÇÃO DA REDE DE TRANSPORTES

Esta atividade metodológica consistiu em preparar os simuladores de tráfego para a realização do experimento. Considerando as particularidades de cada um dos simuladores para a etapa de codificação da rede de transportes, foi coletada uma imagem do trecho selecionado através do programa Google Earth, com resolução alta o suficiente para visualizar (através de aproximação da imagem), os detalhes do trecho estudado, como: número de faixas, sentidos das vias, presença de semáforos, entre outros. A imagem utilizada nos simuladores de tráfego AIMSUN e VISSIM é apresentada nas Figuras 5.3a e 5.3b, considerando o trecho em estudo na totalidade e uma aproximação pontual para visualização mais detalhada, respectivamente.

Figura 5.3a - Ilustração em alta resolução do trecho completo analisado (com um cruzamento marcado para detalhamento através de aproximação)



Figura 5.3b - Cruzamento detalhado da imagem do Google Earth



Com a imagem foi possível realizar a codificação da rede nos simuladores. A Figura 5.4 representa a rede codificada no simulador AIMSUN. Já a Figura 5.5 representa a rede codificada no simulador VISSIM.

Figura 5.4 - Rede codificada no simulador de tráfego AIMSUN

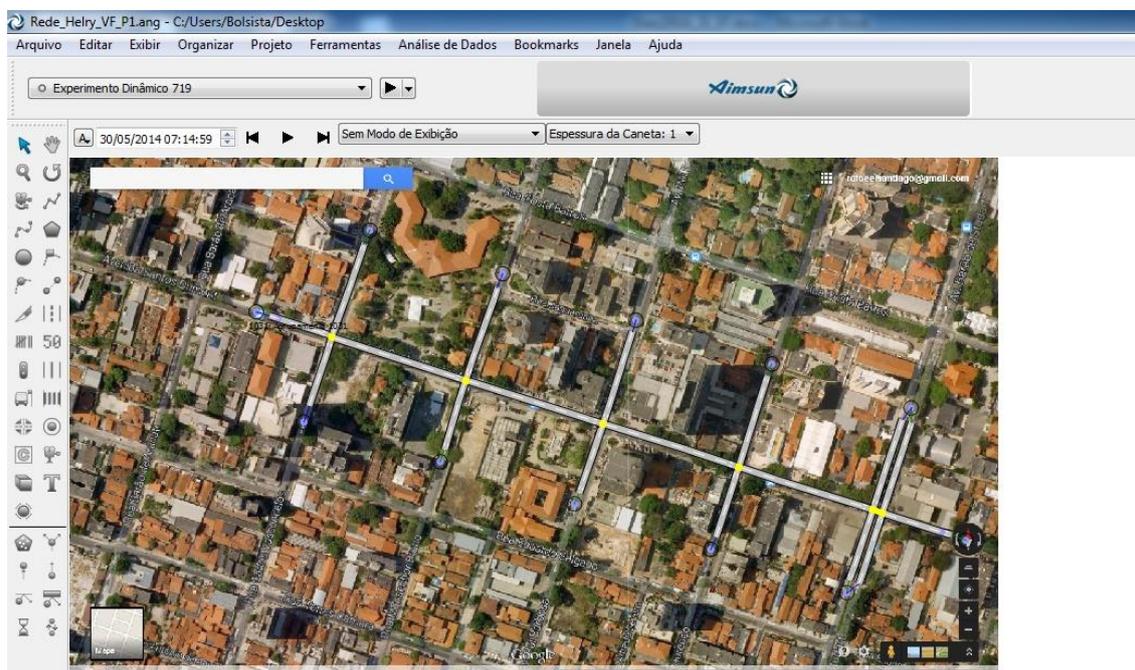
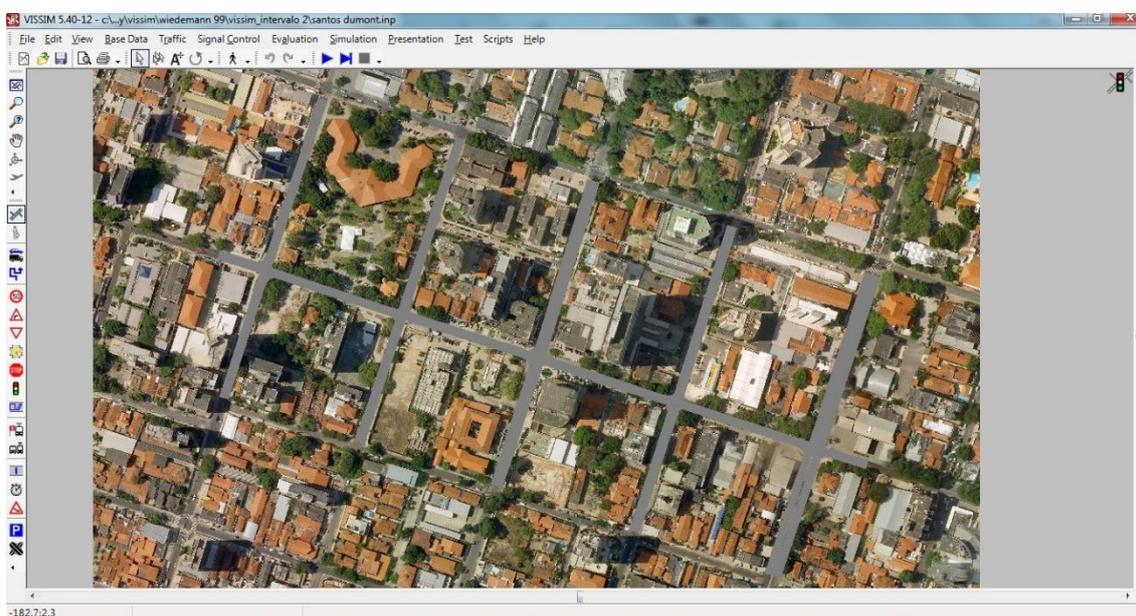
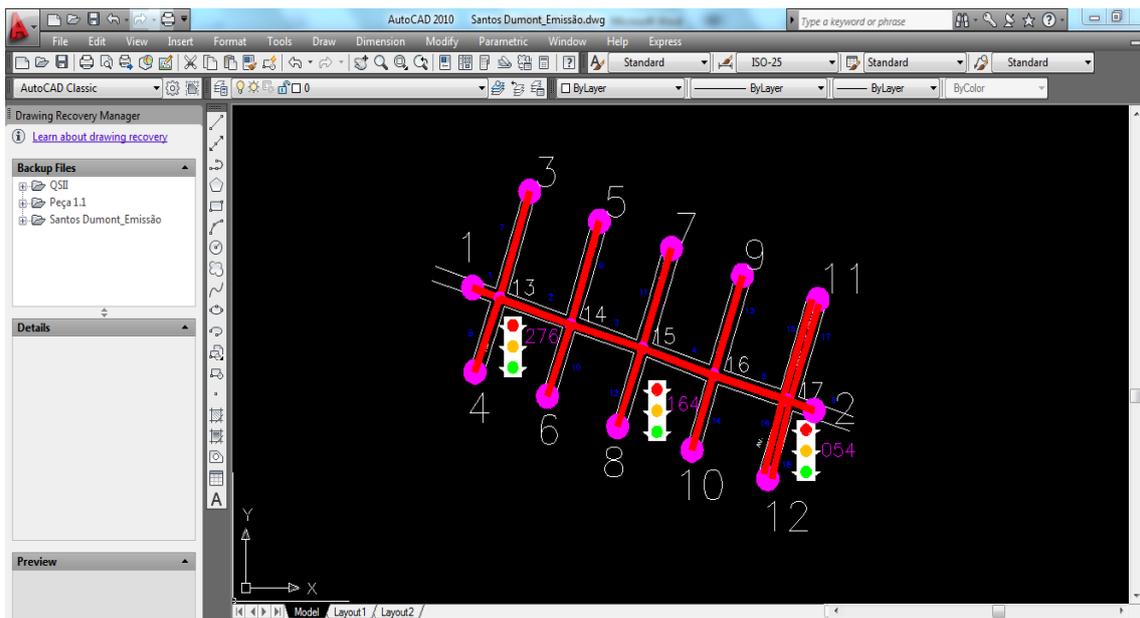


Figura 5.5 - Rede codificada no simulador de tráfego VISSIM



Para a codificação no simulador de tráfego INTEGRATION o processo contou com o desenho do trecho em arquivo tipo CAD (.dwg), sendo utilizado nesta pesquisa o programa AUTOCAD 2010. A representação da rede desenhada no programa é ilustrada na Figura 5.6.

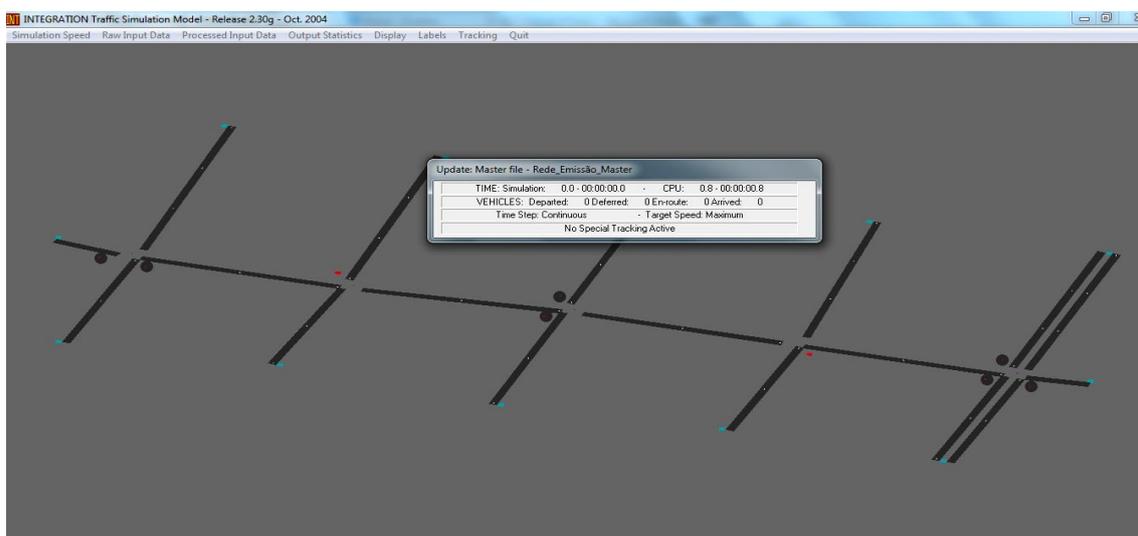
Figura 5.6 - Desenho da rede em arquivo .dwg (AUTOCAD 2010)



Os números em cor branca (de maior tamanho) de 1 a 12 são referentes aos nós externos, os números em cor branca (de menor tamanho) de 13 a 17 são referentes aos nós internos, os números em cor azul de 1 a 18 são referentes aos arcos (links).

Posteriormente a construção do desenho em formato CAD, o arquivo foi codificado no simulador, tendo os dados com as dimensões da rede sendo levantados em arquivos de texto (*.dat). A rede com a configuração codificada no simulador de tráfego INTEGRATION é apresentada na Figura 5.7.

Figura 5.7 - Representação da rede codificada no simulador INTEGRATION



As dimensões foram mantidas as mesmas (nos três simuladores), com o objetivo de aproximar as condições em que estariam submetidos o tráfego e o veículo analisado. O trecho principal analisado (Avenida Santos Dumont) foi codificado com 588 metros de comprimento, as vias que cruzam a Avenida Santos Dumont foram codificadas com os mesmos comprimentos, aproximadamente 270 metros. Todo o trecho foi construído com duas faixas, sentido único, com 3.50 metros de largura/faixa como padrão.

5.3. DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO E MÉTODO DE COLETA DAS EMISSÕES EM CAMPO

Tal etapa consistiu em desenvolver e preparar os equipamentos a serem utilizados na coleta das emissões. O primeiro equipamento desenvolvido para o sistema de coleta de emissões foi o porta filtros (cassete), construído em material capaz de resistir (sem apresentar deformação) a temperaturas limites de 160 ° C, comum ao fluxo do fluido de escape e observado em campo como limite máximo de temperatura. A opção foi construir o equipamento em alumínio, capaz de resistir a temperaturas bem acima das que poderiam ser impostas durante o experimento e maleável o suficiente para ser moldado pelos equipamentos da oficina da Engenharia Mecânica, da Universidade Federal do Ceará, o que permitiu que o mesmo fosse construído sem custos.

A peça foi construída buscando o aumento de escala de um cassete de bancada, como descrito no Capítulo 4, com o objetivo de acondicionar (sem contaminação indesejada) os filtros de celulose utilizados na coleta de particulados, que eram levados ao trecho estudado em placas de Petri. As dimensões do porta filtro confeccionado foram proporcionalmente ampliadas para não comprometer o fluxo de gás no interior do equipamento. O equipamento desenvolvido está apresentado nas Figuras 5.8a e 5.8b.

Figura 5.8a - Imagem frontal do cassete construído em alumínio



Figura 5.8b - Imagem interna do cassete construído em alumínio



Posteriormente a construção do cassete, foi confeccionado o equipamento separador de partículas (ciclone). Considerando as particularidades do experimento

(como vazão coletada e temperatura), o ciclone foi também construído em alumínio, comum à área de entrada de $67,28 \text{ mm}^2$, sendo então capaz de suportar vazões na faixa de 24 l/min a 80 l/min, ideais para o experimento em questão. O ciclone construído em alumínio é apresentado nas Figuras 5.9a e 5.9b.

Figura 5.9a - Imagem frontal do ciclone construído em alumínio



Figura 5.9b - Imagem da região inferior do ciclone separada do topo (rosqueável)

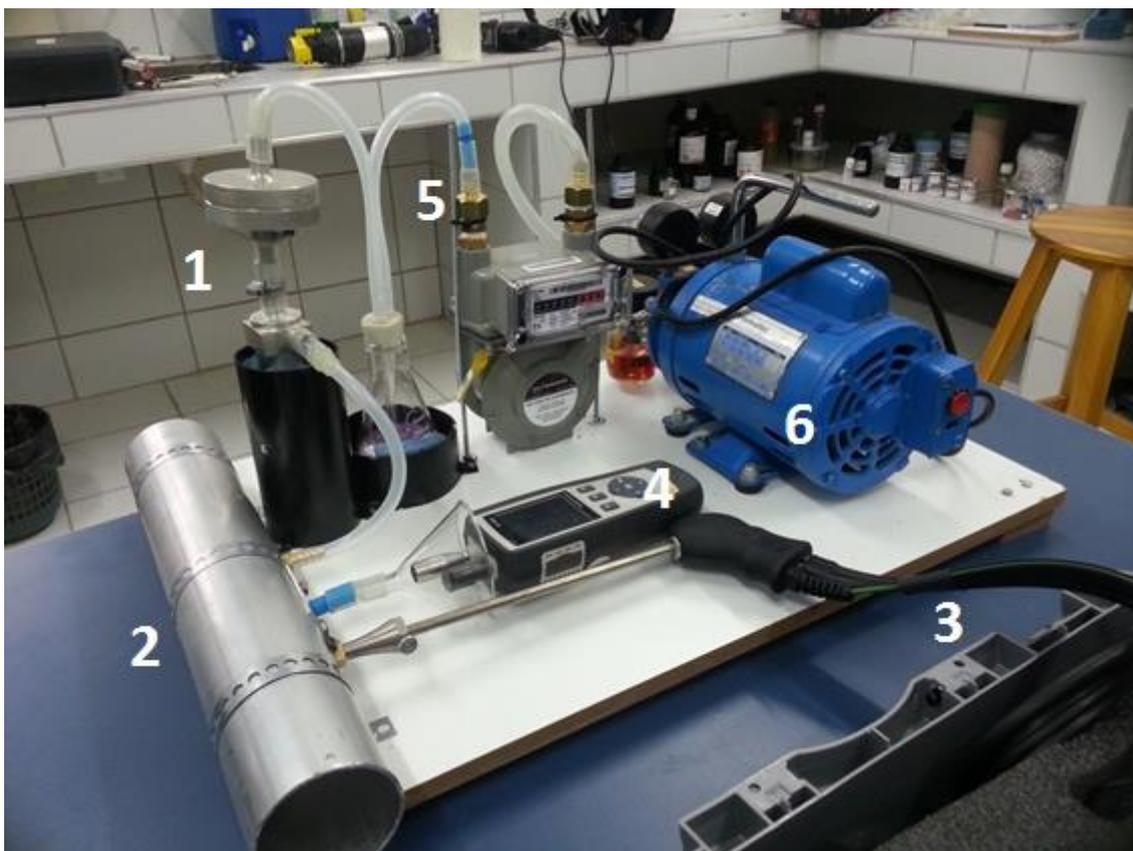


Além do desenvolvimento dos equipamentos apresentados, foram adaptados a uma plataforma de madeira, com o intuito de transportar com segurança e facilidade o sistema para a carroceria do veículo; um tubo de alumínio, para conduzir a vazão do gás; um erlenmeyer com sílica, para absorção da umidade; uma bomba de sucção com vazão constante testada e verificada em aproximadamente 32,6 l/min (bomba Primatec

131); um contador de partículas DT-9880, capaz de realizar a contagem de partículas de 0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0 e 10.0 μm ; um analisador de partículas eletrônico portátil Greenline 8000, capaz de analisar fluxos dos compostos O_2 , CO_2 , CO , NO_x , SO_2 , H_2S ou C_xH_y .

O sistema é levado à carroceria do veículo e conectado ao escapamento do mesmo por intermédio de um tubo flexível, com comprimento variável, dependente da distância do escapamento (normalmente localizado na parte inferior do veículo) à plataforma mais próxima do caminhão. A alimentação dos equipamentos que exigiam corrente elétrica foi realizada com um equipamento inversor de corrente contínua em corrente alternada, conectado diretamente a bateria dos veículos. O sistema com todos os equipamentos prontos para a aplicação da coleta embarcada é apresentado na Figura 5.10.

Figura 5.10 - Sistema construído sobre uma plataforma de madeira, contendo a metodologia de coleta de emissões



Elementos constituintes do sistema de coleta: complexo ciclone + cassete (1); tubo extensor do escapamento do veículo (2); analisador de gases Greenline 8000

(3); contador de partículas DT-9880 (4); gasômetro (5) e bomba a vácuo Primatec 131 (6).

5.4. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE COLETA EM CAMPO E CONTAGEM DOS VOLUMES DE TRÁFEGO

O objetivo desta etapa foi extrair os dados de campo a serem usados nas análises. Esta etapa metodológica foi dividida em duas frentes de trabalho: (i) coleta das emissões; e (ii) realização das contagens de tráfego. As duas atividades ocorreram simultaneamente e contaram com a participação de colaboradores e pesquisadores de campo. Os veículos analisados foram gratuitamente cedidos por empresas privadas que atuam em Fortaleza e pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.

5.4.1. Aplicação da Metodologia de Coleta das Emissões

Três veículos foram utilizados, sendo que todos foram cedidos para a realização do estudo a custo zero: (i) caminhão Iveco, modelo 45S14, ano 2007 com PBT (Peso Bruto Total) de 4400 kg; (ii) caminhão VolkswagenWorker 9-150, ano 2011 com PBT de 9000 kg; e (iii) caminhão Ford Cargo 2422, ano 2008 com 23000 kg. Os veículos (i) e (ii) enquadram-se no padrão VUC, sendo que o (ii) encontra-se no limite superior e extremo da categoria. Abre-se aqui um parêntese para destacar que o veículo (ii) tem sido bastante utilizado para distribuição de mercadorias na cidade de Fortaleza. Já o veículo (iii) representa um não VUC e corresponde ao tipo de veículo utilizado em diversos serviços de transporte em áreas urbanas, como distribuição de bebidas, gás, coleta de lixo e entrega de materiais de construção.

A análise consistiu em simular um trajeto cotidiano comum ao serviço dos veículos empregados no estudo, iniciando no cruzamento da Avenida Santos Dumont com a Rua Carlos Vasconcelos. Neste ponto, ao iniciar o percurso, ligava-se a bomba que realizava a sucção dos gases, o contador e o analisador de partículas. O sistema era desativado alguns metros depois do cruzamento com a Avenida Barão de Studart. Posteriormente, o veículo retornava ao ponto inicial e tinha início uma nova coleta. Todo o procedimento tinha duração de 15 minutos, incluindo aí o tempo para deslocamento e intervalos para reposição das lâminas de celulose.

As coletas ocorreram no período entre 06:30 e 09:00, cada qual em uma terça-feira, nos meses de março e abril de 2014. Destaca-se que durante os dias de coleta o clima estava típico, sem precipitação chuvosa e temperatura em conformidade com a média local. Além disso, foram dias úteis normais e distantes de feriados, daí o fato de as coletas terem se estendido pelos meses de março a abril. Não foi possível realizar as coletas simultaneamente, devido à disponibilidade de apenas um conjunto de equipamentos, bem como da quantidade de recursos humanos utilizados no experimento.

As análises tiveram início com o caminhão Iveco, neste caso, de forma a testar o equipamento e a metodologia de coleta, houve um esforço piloto, prévio. Os dados obtidos neste dia não foram utilizados nas análises do presente trabalho. O segundo veículo disponibilizado e avaliado foi o Ford, contudo parte dos dados coletados foi perdida, tais como a quantidade de material particulado. Por fim, os testes foram realizados com a participação do Volkswagen Worker, que, por sua vez, também apresentou perdas na análise de materiais particulados. Em média, cada veículo realizou seis passagens no percurso, ao longo do intervalo de tempo considerado. De todos os experimentos realizados, o que contou com a presença do veículo Iveco foi o que obteve maior êxito, sem perdas ao longo das passagens, permitindo aproveitar integralmente os dados coletados.

Destaca-se que cada veículo foi equipado com GPS da marca Triton. O objetivo seria mapear o percurso dos veículos e possibilitar identificar as velocidades e acelerações dos mesmos, permitindo gerar o ciclo de condução a cada passagem (levantado no Apêndice A). As velocidades instantâneas são imprescindíveis para os cálculos das velocidades médias, possibilitando os cálculos das emissões instantâneas e médias.

5.4.2. Contagens dos Volumes de Tráfego

Em conjunto as coletas dos poluentes com o sistema embarcado, foram realizadas filmagens nos cinco cruzamentos do trecho escolhido para o estudo. As filmagens foram posteriormente separadas em intervalos de 15 minutos, onde foram realizados os levantamentos dos veículos de maneira classificatória, considerando automóveis, ônibus e caminhões. Os vídeos foram criteriosamente analisados em laboratório, de forma a garantir maior precisão deste tipo de informação.

Os histogramas apresentados nas Figuras 5.11 a 5.16 demonstram as variações de tráfego em cada um dos seis ciclos avaliados. O Ciclo 2 ocorre entre 07h:00min e 07h:15min, o Ciclo 3 entre 07h:15min e 07h:30min, o Ciclo 4 entre 07h:30 e 07h:45min, o Ciclo 5 entre 08h:00min e 08h:15min, o Ciclo 6 entre 08h:15 e 08h:30min e o Ciclo 7 entre 08h:30min e 08h:45min. As identificações de cada arco onde ocorreu a contagem são apresentadas na Tabela 5.1 e os volumes levantados (contagem classificatória) são apresentados no Apêndice B.

Tabela 5.1 - Identificação de cada link para verificação dos dados dos histogramas de tráfego

1	Santos Dumont (entre Barão de Aracati e Carlos Vasconcelos)
2	Santos Dumont (entre Carlos Vasconcelos e Monsenhor Bruno)
3	Santos Dumont (entre Monsenhor Bruno e Rui Barbosa)
4	Santos Dumont (entre Rui Barbosa e José Lourenço)
5	Santos Dumont (entre José Lourenço e Barão de Studart)
6	Santos Dumont (entre Barão de Studart e Silva Paulet)
7	Carlos Vasconcelos (entre Costa Barros e Santos Dumont)
8	Carlos Vasconcelos (Santos Dumont e Eduardo Salgado)
9	Monsenhor Bruno (entre Costa Barros e Santos Dumont)
10	Monsenhor Bruno (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)
11	Rui Barbosa (entre Costa Barros e Santos Dumont)
12	Rui Barbosa (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)
13	José Lourenço (entre Costa Barros e Santos Dumont)
14	José Lourenço (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)
15	Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Costa Barros e Santos Dumont)
16	Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)
17	Barão de Studart - sentido Sul/Norte (entre Costa Barros e Santos Dumont)
18	Barão de Studart - sentido Sul/Norte (Santos Dumont e Eduardo Salgado)

Figura 5.11 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 2 (entre 07h:00min e 07h:15min)

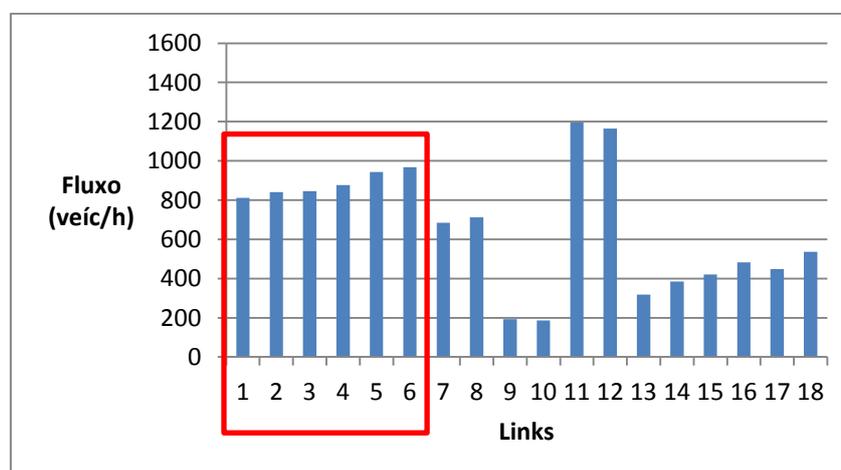


Figura 5.12 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 3 (entre 07h:15min e 07h:30min)

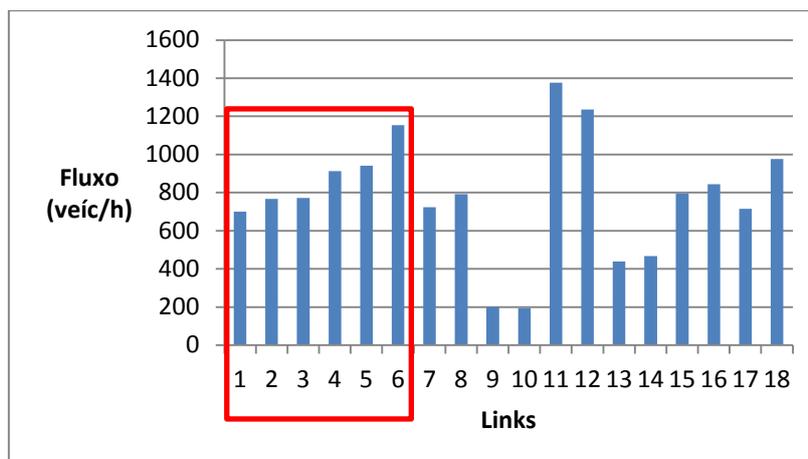


Figura 5.13 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 4 (entre 07h:30min e 07h:45min)

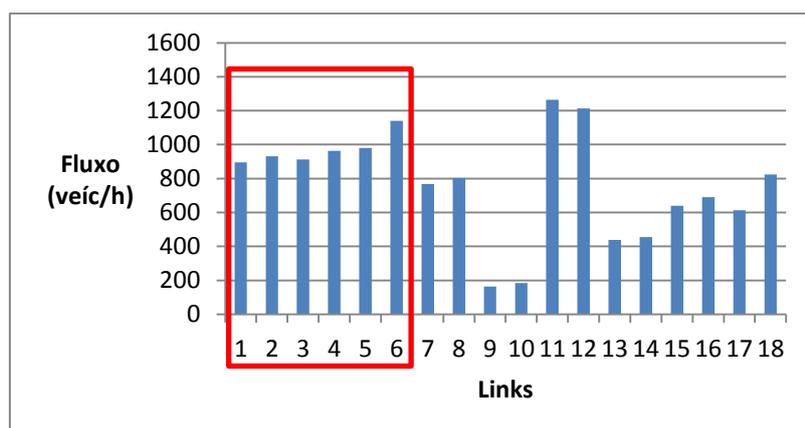


Figura 5.14 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 5 (entre 08h:00min e 08h:15min)

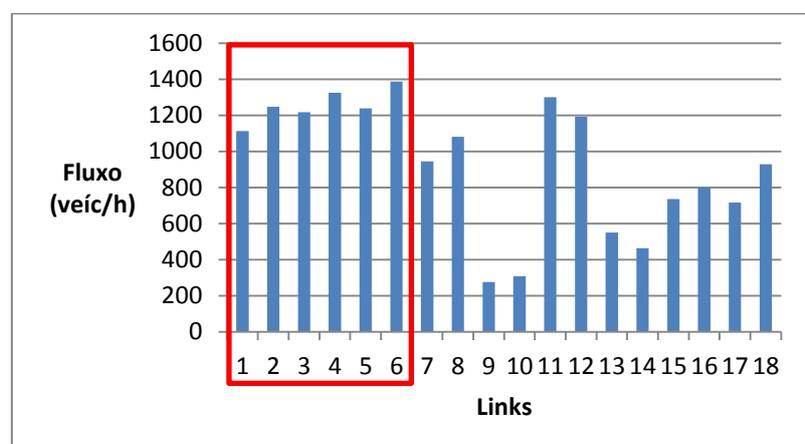


Figura 5.15 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 6 (entre 08h:15min e 08h:30min)

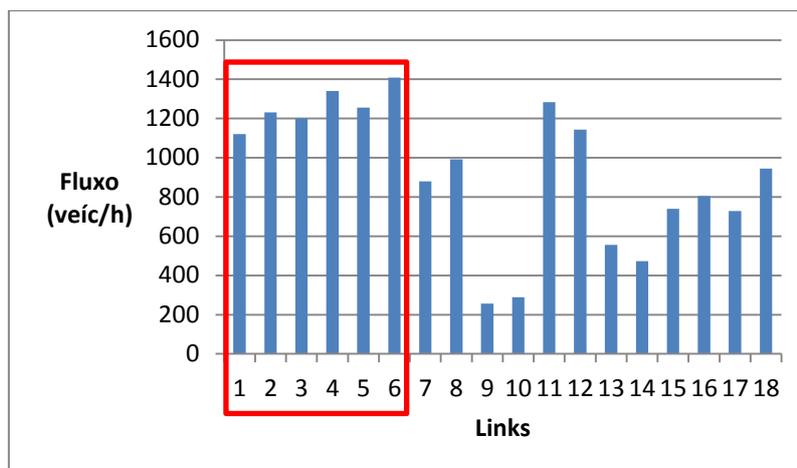
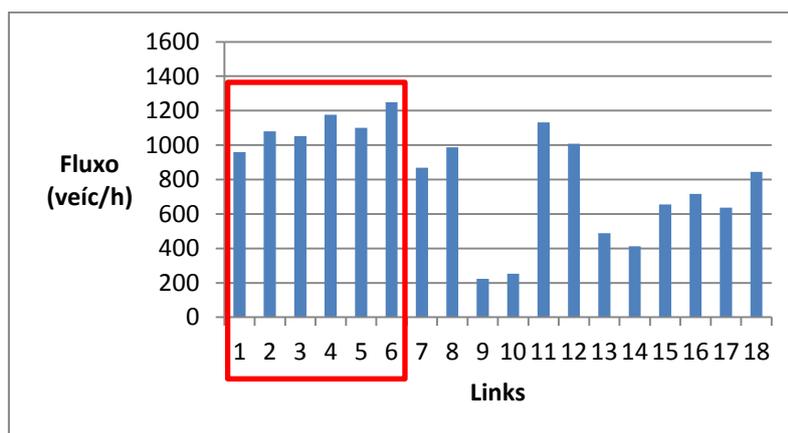


Figura 5.16 - Histograma dos fluxos de todos os veículos em cada link, Ciclo 7 (entre 08h:30min e 08h:45min)



Devem ser observados com maior atenção os links 1 a 6, pois são referentes a Avenida Santos Dumont, corredor onde foi realizado o experimento com o veículo analisado.

5.5. ANÁLISE LABORATORIAL DAS COLETAS DE EMISSÕES

Esta atividade metodológica objetivou analisar os dados coletados em campo, por meio de ensaios laboratoriais. Após as coletas, os filtros de celulose foram devidamente acondicionados e encaminhados para análise laboratorial. Em laboratório foram pesados e houve cálculo da diferença de massa, entre o filtro antes da coleta e após a coleta, com o objetivo de analisar a massa de particulados retidos nos filtros. As Figuras 5.17a e 5.17b apresentam filtros de celulose, isento de contaminantes e após a coleta dos particulados, respectivamente.

Figura 5.17a - Imagem de um filtro de celulose sem contaminação

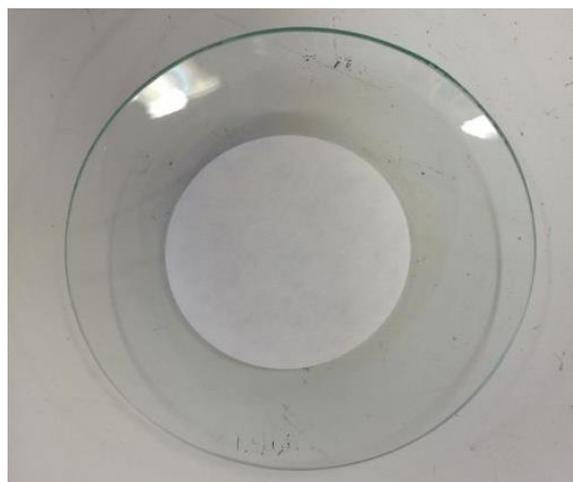
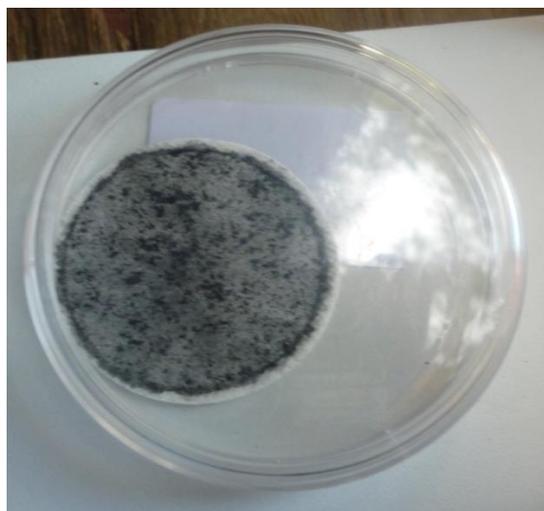


Figura 5.17b - Imagem de um dos filtros de celulose com particulados retidos, após coleta



Os demais poluentes foram coletados com auxílio do analisador de partículas Greenline 8000, o que possibilitou agilidade nas análises e menor esforço laboratorial. Todos os dados coletados pelo Greenline foram armazenados em computador. Os dados foram levantados a cada 10 segundos, em virtude das velocidades terem sido coletadas também a cada 10 segundos, devido ao GPS empregado. Assim, foi possível calcular as emissões instantâneas e médias, utilizadas no processo de comparação entre os simuladores.

5.6. TRATAMENTO DOS DADOS REAIS DE EMISSÃO

Tal etapa teve por meta preparar os dados de emissão coletados em campo e para a etapa de comparação entre os simuladores. Em virtude dos incidentes durante as coletas de dados, optou-se por priorizar as análises dos resultados provenientes do

veículo Iveco. Os demais veículos foram simulados, visando um enfoque comparativo, de forma a atender a uma das questões de pesquisa formuladas. Porém, não há garantias quanto a ampla representatividade dos valores obtidos em campo para os dois outros veículos. Para os cálculos das emissões de particulados foram calculados a quantidade em gramas por segundo de cada faixa de materiais particulados ($0.3\mu\text{m}$ a $10\mu\text{m}$). A partir das quantidades em gramas por segundo foi possível calcular as quantidades de particulados em gramas por quilômetro, conhecendo as velocidades do veículo. Tal conversão foi imprescindível devido às unidades utilizadas pelos simuladores.

Os dados com as emissões globais (para os particulados) resumidas das coletas, horários e tempos de viagem (T.V.) são apresentadas nas Tabelas 5.2 a 5.7.

Tabela 5.2 - Dados calculados referentes ao segundo ciclo, 07h08min, com 132,5 s (T.V.)

Tempo	g/km (0.3)	g/km (0.5)	g/km (1.0)	g/km (2.5)	g/km (5.0)	g/km (10.0)
10	0,017120333	0,00423155	0,000655708	9,50889E-05	2,33911E-05	1,3931E-05
20	0,015563939	0,00384686	0,000596098	8,64445E-05	2,12646E-05	1,2664E-05
30	0,042800832	0,01057887	0,00163927	0,000237722	5,84778E-05	3,4827E-05
40	0,042800832	0,01057887	0,00163927	0,000237722	5,84778E-05	3,4827E-05
50	0,02517696	0,00622286	0,000964276	0,000139837	3,43987E-05	2,0487E-05
60	0,102721998	0,02538929	0,003934248	0,000570533	0,000140347	8,3585E-05
70	0,023046602	0,00569631	0,000882684	0,000128004	3,1488E-05	1,8753E-05
80	0,019566095	0,00483606	0,000749381	0,000108673	2,67327E-05	1,5921E-05
90	0,026566034	0,0065662	0,001017478	0,000147552	3,62966E-05	2,1617E-05
100	0,214004162	0,05289435	0,00819635	0,001188611	0,000292389	0,00017414
110	0,031387277	0,00775784	0,001202131	0,00017433	4,28837E-05	2,554E-05
120	0	0	0	0	0	0

Tabela 5.3 - Dados calculados referentes ao terceiro ciclo, 07h27min, com 125,3 s (T.V.)

Tempo	g/km (0.3)	g/km (0.5)	g/km (1.0)	g/km (2.5)	g/km (5.0)	g/km (10.0)
10	0,008705249	0,002238894	0,00020588	8,93218E-06	7,2667E-07	3,20457E-07
20	0,007913863	0,002035358	0,00018716	8,12016E-06	6,60609E-07	2,91325E-07
30	0,021763122	0,005597235	0,00051469	2,23304E-05	1,81668E-06	8,01143E-07
40	0,021763122	0,005597235	0,00051469	2,23304E-05	1,81668E-06	8,01143E-07
50	0,012801837	0,003292491	0,00030276	1,31356E-05	1,06863E-06	4,7126E-07
60	0,052231493	0,013433363	0,00123527	5,35931E-05	4,36002E-06	1,92274E-06
70	0,011718604	0,003013896	0,00027714	1,20241E-05	9,7821E-07	4,31385E-07
80	0,009948856	0,002558736	0,00023529	1,02082E-05	8,3048E-07	3,66237E-07

90	0,013508145	0,003474146	0,00031947	1,38603E-05	1,12759E-06	4,97261E-07
100	0,108815611	0,027986174	0,00257347	0,000111652	9,08338E-06	4,00571E-06
110	0,015959623	0,004104639	0,00037744	1,63757E-05	1,33223E-06	5,87505E-07
120	0	0	0	0	0	0

Tabela 5.4 - Dados calculados referentes ao quarto ciclo, 07h43min, com 143,1 s (T.V.)

Tempo	g/km (0.3)	g/km (0.5)	g/km (1.0)	g/km (2.5)	g/km (5.0)	g/km (10.0)
10	0,01148146	0,003628238	0,000498252	2,82069E-05	2,5955E-06	1,25257E-06
20	0,01043769	0,003298398	0,000452956	2,56427E-05	2,3595E-06	1,1387E-06
30	0,02870364	0,009070595	0,00124563	7,05173E-05	6,4887E-06	3,13143E-06
40	0,02870364	0,009070595	0,00124563	7,05173E-05	6,4887E-06	3,13143E-06
50	0,01688449	0,005335644	0,000732723	4,14808E-05	3,8169E-06	1,84201E-06
60	0,06888873	0,021769428	0,002989512	0,000169241	1,5573E-05	7,51542E-06
70	0,01545581	0,004884166	0,000670724	3,79708E-05	3,4939E-06	1,68615E-06
80	0,01312166	0,004146558	0,000569431	3,22365E-05	2,9663E-06	1,43151E-06
90	0,01781605	0,005630024	0,00077315	4,37694E-05	4,0275E-06	1,94364E-06
100	0,14351819	0,045352975	0,006228149	0,000352586	3,2443E-05	1,56571E-05
110	0,02104933	0,00665177	0,000913462	5,17127E-05	4,7584E-06	2,29638E-06
120	0	0	0	0	0	0

Tabela 5.5 - Dados calculados referentes ao quinto ciclo, 08h02min, com 138,6 s (T.V.)

Tempo	g/km (0.3)	g/km (0.5)	g/km (1.0)	g/km (2.5)	g/km (5.0)	g/km (10.0)
10	0,01581517	0,003998827	0,000477721	2,4568E-05	2,5226E-06	1,18974E-06
20	0,01437743	0,003635297	0,000434292	2,23345E-05	2,2933E-06	1,08158E-06
30	0,03953793	0,009997067	0,001194303	6,14199E-05	6,3065E-06	2,97434E-06
40	0,03953793	0,009997067	0,001194303	6,14199E-05	6,3065E-06	2,97434E-06
50	0,02325761	0,005880628	0,000702531	3,61294E-05	3,7097E-06	1,74961E-06
60	0,09489103	0,02399296	0,002866327	0,000147408	1,5136E-05	7,13842E-06
70	0,02128965	0,005383036	0,000643086	3,30723E-05	3,3958E-06	1,60157E-06
80	0,01807448	0,004570088	0,000545967	2,80777E-05	2,883E-06	1,3597E-06
90	0,02454078	0,006205076	0,000741291	3,81227E-05	3,9144E-06	1,84614E-06
100	0,19768965	0,049985334	0,005971515	0,0003071	3,1532E-05	1,48717E-05
110	0,02899448	0,007331182	0,000875822	4,50413E-05	4,6247E-06	2,18119E-06
120	0	0	0	0	0	0

Tabela 5.6 - Dados calculados referentes ao sexto ciclo, 08h18min, com 140,2 s (T.V.)

Tempo	g/km (0.3)	g/km (0.5)	g/km (1.0)	g/km (2.5)	g/km (5.0)	g/km (10.0)
10	0,01008433	0,002557984	0,000246846	9,70326E-06	7,6483E-07	3,70825E-07
20	0,00916757	0,00232544	0,000224405	8,82115E-06	6,953E-07	3,37114E-07
30	0,02521083	0,006394959	0,000617115	2,42582E-05	1,9121E-06	9,27063E-07
40	0,02521083	0,006394959	0,000617115	2,42582E-05	1,9121E-06	9,27063E-07
50	0,0148299	0,003761741	0,000363009	1,42695E-05	1,1247E-06	5,45331E-07
60	0,06050599	0,015347903	0,001481076	5,82196E-05	4,589E-06	2,22495E-06
70	0,01357506	0,00344344	0,000332293	1,30621E-05	1,0296E-06	4,99188E-07
80	0,01152495	0,00292341	0,00028211	1,10894E-05	8,7409E-07	4,238E-07
90	0,0156481	0,003969285	0,000383037	1,50568E-05	1,1868E-06	5,75419E-07
100	0,12605414	0,031974797	0,003085575	0,000121291	9,5603E-06	4,63532E-06
110	0,01848794	0,004689637	0,000452551	1,77893E-05	1,4022E-06	6,79846E-07
120	0	0	0	0	0	0

Tabela 5.7 – Dados calculados referentes ao sétimo ciclo, 08h33min, com 129,4 s (T.V.)

Tempo	g/km (0.3)	g/km (0.5)	g/km (1.0)	g/km (2.5)	g/km (5.0)	g/km (10.0)
10	0,00500241	0,001729546	0,000271164	1,25798E-05	6,6665E-07	3,02694E-07
20	0,01091434	0,003773554	0,00059163	2,74469E-05	1,4545E-06	6,60424E-07
30	0,00666988	0,002306061	0,000361552	1,67731E-05	8,8886E-07	4,03593E-07
40	0,03001445	0,010377274	0,001626983	7,5479E-05	3,9999E-06	1,81617E-06
50	0,07503612	0,025943186	0,004067457	0,000188698	9,9997E-06	4,54042E-06
60	0,36017337	0,124527291	0,019523793	0,000905748	4,7999E-05	2,1794E-05
70	0,01400674	0,004842728	0,000759259	3,52235E-05	1,8666E-06	8,47544E-07
80	0,01412445	0,004883423	0,000765639	3,55195E-05	1,8823E-06	8,54667E-07
90	0,02000963	0,006918183	0,001084655	5,03194E-05	2,6666E-06	1,21078E-06
100	0,30014448	0,103772743	0,016269827	0,00075479	3,9999E-05	1,81617E-05
110	0,03475357	0,012015791	0,001883875	8,73968E-05	4,6315E-06	2,10293E-06
120	0	0	0	0	0	0

Para efeito de comparativo com os simuladores serão confrontados os valores globais de emissões, ou seja, o somatório dos valores de particulados em todas as faixas de diâmetros de partícula. Tal procedimento foi adotado devido aos simuladores não disponibilizarem as informações com tal nível de detalhamento.

Além dos materiais particulados, foram obtidas informações a respeito de outros dados de emissão, tais como: CO, CO₂ e NO_x. A metodologia aplicada com o uso do analisador de partículas também é capaz de estimar dados de CH₄ e SO₂, contudo

não foi observada presença desses compostos nos dados apresentados pelo analisador Greenline 8000. Tal fato deve-se, provavelmente, em função do uso de diesel S10, que apresenta menor teor de enxofre, quando comparado ao diesel comercializado anteriormente S50, em ppm. Tal constatação é importante, pois comprova a redução do enxofre no diesel comercializado, conforme determinação legal. Os dados obtidos estão apresentados nas Tabelas 5.8 a 5.13.

Tabela 5.8 - Dados calculados referentes ao segundo ciclo, 07h08min

Tempo	CO[g/km]	CO2 [g/km]	NOx [g/km]
10	0,071337947	0,002657716	0,03644752
20	0,06805075	0,003086261	0,044752018
30	0,00911188	0,005756326	0,025374856
40	0,008765859	0,004835077	0,025951557
50	0,038292964	0,002588138	0,039446367
60	0,085928489	0,004786636	0,057554787
70	0,064475202	0,005961586	0,053287197
80	0,008950404	0,004675481	0,02733564
90	0,057324106	0,004373157	0,046366782
100	0,040484429	0,003850185	0,044752018
110	0,045213379	0,003588963	0,034832757
120	0	0	0

Tabela 5.9 - Dados calculados referentes ao terceiro ciclo, 07h27min

Tempo	CO[g/km]	CO2 [g/km]	NOx [g/km]
10	0,00588235	0,00235771	0,025259516
20	0,00426759	0,002280663	0,02260669
30	0,02041522	0,005595541	0,040253749
40	0,06810842	0,003443308	0,029642445
50	0,05403691	0,0033164	0,02733564
60	0,01620531	0,002612926	0,025951557
70	0,01326413	0,002191179	0,021568627
80	0,01355248	0,005153493	0,037485582
90	0,00997693	0,009757117	0,037831603
100	0,00709343	0,006092298	0,044982699
110	0,01580161	0,00692196	0,052941176
120	0	0	0

Tabela 5.10 - Dados calculados referentes ao quarto ciclo, 07h43min

Tempo	CO[g/km]	CO2 [g/km]	NOx [g/km]
10	0,007958478	0,000205067	0,02364475
20	0,017070358	0,002788145	0,04740484
30	0,012514418	0,005498846	0,05570934
40	0,079008074	0,00957252	0,03483276
50	0,043598616	0,004354943	0,05916955
60	0,090426759	0,012358615	0,05455594
70	0,04567474	0,009762793	0,04475202
80	0,024221453	0,00738006	0,05882353
90	0,012802768	0,010159852	0,08096886
100	0,012226067	0,011532717	0,0283737
110	0,004959631	0,002773005	0,03367935
120	0	0	0

Tabela 5.11 - Dados calculados referentes ao quinto ciclo, 08h02min

Tempo	CO[g/km]	CO2 [g/km]	NOx [g/km]
10	0,004844291	0,003106201	0,02260669
20	0,006574394	0,003084648	0,02260669
30	0,00472895	0,003647232	0,02802768
40	0,049365629	0,00501854	0,03540946
50	0,014648212	0,005488207	0,03287197
60	0,03656286	0,005734517	0,03194925
70	0,03615917	0,003504685	0,02652826
80	0,028489043	0,004141679	0,02998847
90	0,013264129	0,003547034	0,02514418
100	0,010149942	0,003822646	0,02376009
110	0,045790081	0,006959501	0,04936563
120	0	0	0

Tabela 5.12 - Dados calculados referentes ao sexto ciclo, 08h18min

Tempo	CO[g/km]	CO2 [g/km]	NOx [g/km]
10	0,00472895	0,00239769	0,021107266
20	0,005916955	0,00314937	0,028027682
30	0,020683968	0,00477211	0,036793541
40	0,052133795	0,00373478	0,029411765
50	0,006343714	0,00317729	0,026874279
60	0,035371396	0,00252088	0,018569781
70	0,039484429	0,00616672	0,032987313
80	0,012148789	0,00385758	0,02745098
90	0,017301038	0,00412114	0,032295271
100	0,02160669	0,00433176	0,029988466
110	0,0088812	0,0050843	0,033910035
120	0	0	0

Tabela 5.13 - Dados calculados referentes ao sétimo ciclo, 08h33min

Tempo	CO[g/km]	CO2 [g/km]	NOx [g/km]
10	0,026470588	0,002726996	0,02445213
20	0,011995386	0,003419138	0,02998847
30	0,006574394	0,002513342	0,02814302
40	0,045213379	0,006799093	0,04579008
50	0,044636678	0,005497874	0,02122261
60	0,080392157	0,005937956	0,04209919
70	0,016724337	0,006557264	0,02871972
80	0,010207612	0,002901638	0,03079585
90	0,009457901	0,003252927	0,03633218
100	0,019780854	0,004496518	0,0272203
110	0,029700115	0,004345158	0,03056517
120	0	0	0

Da mesma forma, para efeitos de comparação com os simuladores, foi necessária uma agregação dos dados coletados, seguindo o mesmo protocolo adotado com os materiais particulados.

Outro objetivo consistiu na avaliação do enquadramento das emissões em função dos parâmetros estabelecidos pela fase P-7 do PROCONVE. Desta forma, foram calculados os valores das emissões coletadas em campo em gramas por quilowatt-hora. Tais valores estão apresentados na Tabela 5.14, bem como os valores parametrizados pela norma.

Tabela 5.14 - Dados de emissões obtidos limitados pelo fase P-7 do PROCONVE e dados coletados em campo (g/kWh)

Poluente	Limites PROCONVE	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7
NO _x	2.00	0,03582758	0,03210439	0,04787825	0,0289390	0,0275671	0,0281912
CO	4.00	0,03882438	0,01740799	0,02455926	0,0243288	0,0167160	0,0154272
Material Particulado	0.03	0,04481110	0,0225877	0,0316552	0,0411274	0,0261095	0,0342787

Através dos dados coletados em campo, para o trecho analisado, foi possível notar que os limites estabelecidos para os poluentes NO_x e CO estão sendo respeitados, quando comparados com a norma PROCONVE. Porém, para Materiais Particulados, quatro das seis análises demonstram que os limites estabelecidos estão sendo quebrados.

Tal constatação mostra que se faz necessário um estudo mais detalhado, no âmbito das emissões, ao se avaliar intervenções e medidas de circulação de veículos de carga, o veículo analisado, padrão VUC, não está em conformidade com a resolução. Reforça-se que os veículos com motor ciclo diesel são responsáveis pela quase totalidade dos materiais particulados emitidos e que tais poluentes são deveras nocivos aos seres humanos.

Considerando os dados de emissão coletados em campo, em conjunto as velocidades instantâneas coletadas com o ajuda do GPS, foi possível construir os ciclos de condução. Tal informação é primordial para a análise do comportamento das emissões, considerando o comportamento do condutor. São apresentados os ciclos de condução construídos no Ciclo 2 (escolhido sem critério específico) nas Figuras 5.18a, 5.18b e 5.18c, os demais ciclos estão apresentados no Apêndice A.

Figura 5.18a - Ciclo de condução 2, referente a Monóxido de Carbono (g/km)

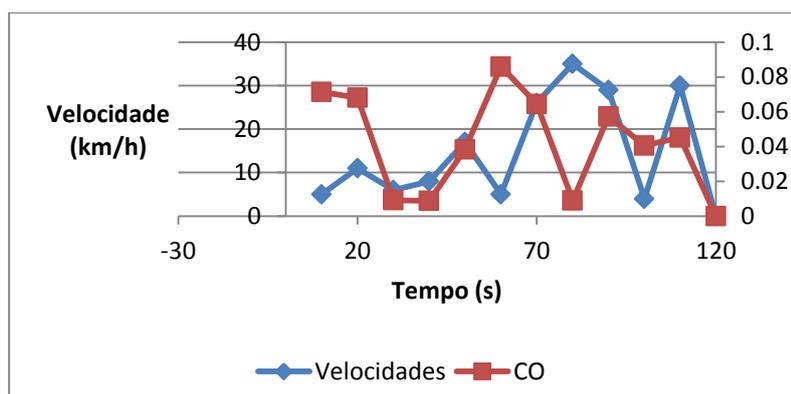


Figura 5.18b – Ciclo de condução 2, referente a DIóxido de Carbono (g/km)

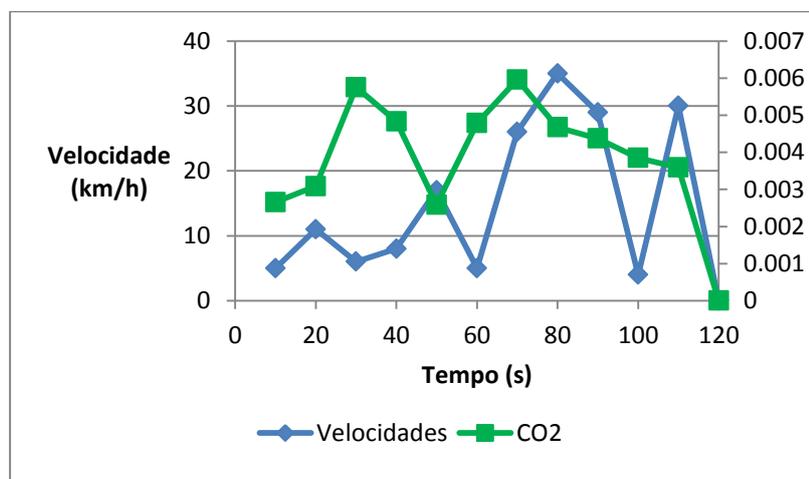
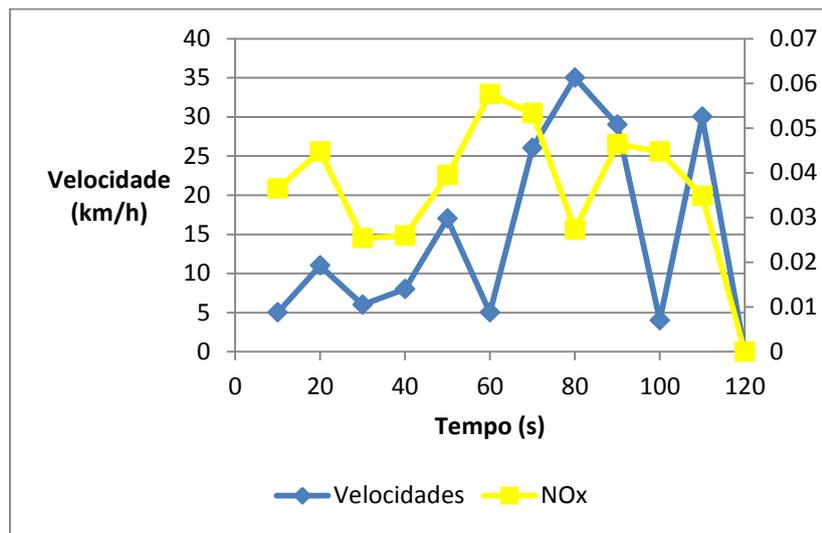


Figura 5.18c – Ciclo de condução 2, referente a Material Particulado (g/km)



Foi observado que no ciclo 2, por exemplo, nos pontos com maiores acelerações positivas, observam-se os maiores picos de emissões. Tais locais tem-se a rotação do motor em níveis mais elevados e correspondem a um maior esforço energético do motor, portanto gera-se maior torque e, conseqüentemente, maiores índices de emissões.

Porém, o comportamento do aumento das emissões em conjunto ao aumento da aceleração não pode ser observado em todos os ciclos. Isso pode ser explicado pelo baixo de amostras de velocidades e emissões, fazendo-se necessário uma amostra com um maior número de dados para análise mais aprofundada.

5.7. ALIMENTAÇÃO DOS DADOS NOS SIMULADORES DE TRÁFEGO

Esta etapa metodológica teve por objetivo preparar os três simuladores de tráfego, de forma que os mesmos pudessem gerar resultados a serem utilizados na comparação com os valores coletados em campo, possibilitando assim, identificar qual simulador mais se aproxima da realidade, no caso de uso sem a devida calibração.

A partir das contagens dos volumes de tráfego realizadas com as filmagens dos cruzamentos, foi possível realizar a alimentação dos dados de tráfego nos três simuladores. Os dados de tráfego estão disponíveis no Apêndice B.

Para os simuladores de tráfego AIMSUN e VISSIM, foram fornecidos os fluxos horários, sendo necessário informar aos simuladores os volumes em cada link do

trecho estudado (em veículos/hora). Os dados de tempos semaforicos foram coletados junto ao órgão público responsável (CTAFOR) e codificados igualmente nos três simuladores. O estudo foi realizado dentro de um plano semaforico, não sendo necessário mudar o plano para as simulações analisadas.

Para os ajustes do veículo estudado, cada simulador apresentou capacidades distintas de edição das características dos mesmos. O simulador AIMSUN apresentou menor capacidade de edição, no que diz respeito às características de um tipo de veículo, em particular, para caminhões (identificado no simulador como Truck). É permitida apenas edição da altura, comprimento e aceleração máxima do veículo. Neste caso, conhecendo o torque, massa e o raio da roda do veículo, foi possível calcular a aceleração máxima, conforme (9). Na Tabela 5.15 são apresentados os valores obtidos e utilizados.

$$T = m \cdot a \cdot r \quad (9)$$

Tabela 5.15 - Acelerações máximas dos veículos analisados

	Iveco 45S14	Volkswagem 9-150e	Ford Cargo 2422
Aceleração Máxima (m/s ²)	1.9	1.33	0.6

Os veículos analisados foram inseridos nos simuladores como *Probe*, ou veículos monitorados. Ao veículo *Probe* foram informadas as mesmas características dos veículos estudados em campo, o que resultou na criação de três veículos *Probe* em cada simulador, sendo que cada um foi utilizado em uma simulação específica e individual. Assim, os dados das emissões resultantes dos simuladores que foram analisados eram exclusivos dos *Probe* estudados. Destaca-se que, caso o analista queira, é possível avaliar as emissões provenientes de todos os veículos da rede em estudo. As Figuras 5.19a e 5.19b apresentam ilustrações do veículo *Probe* em sua travessia pelo trecho selecionado, em visualização aberta e com aproximação da imagem, no simulador de tráfego AIMSUN, respectivamente.

Figura 5.19a - Representação do veículo Probe no simulador de tráfego AIMSUN

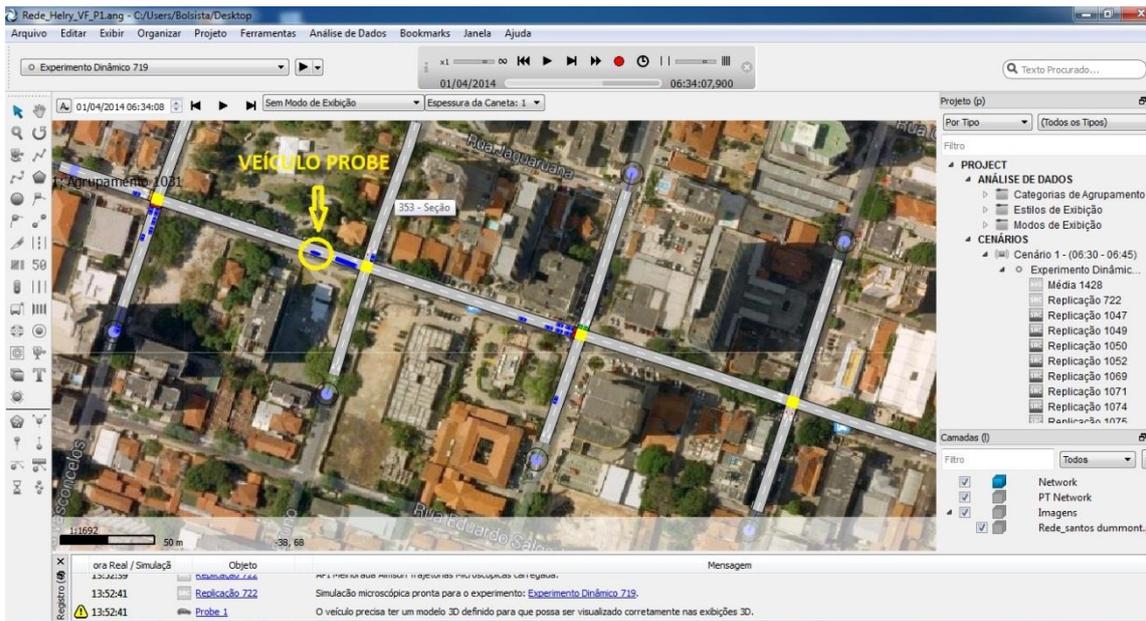
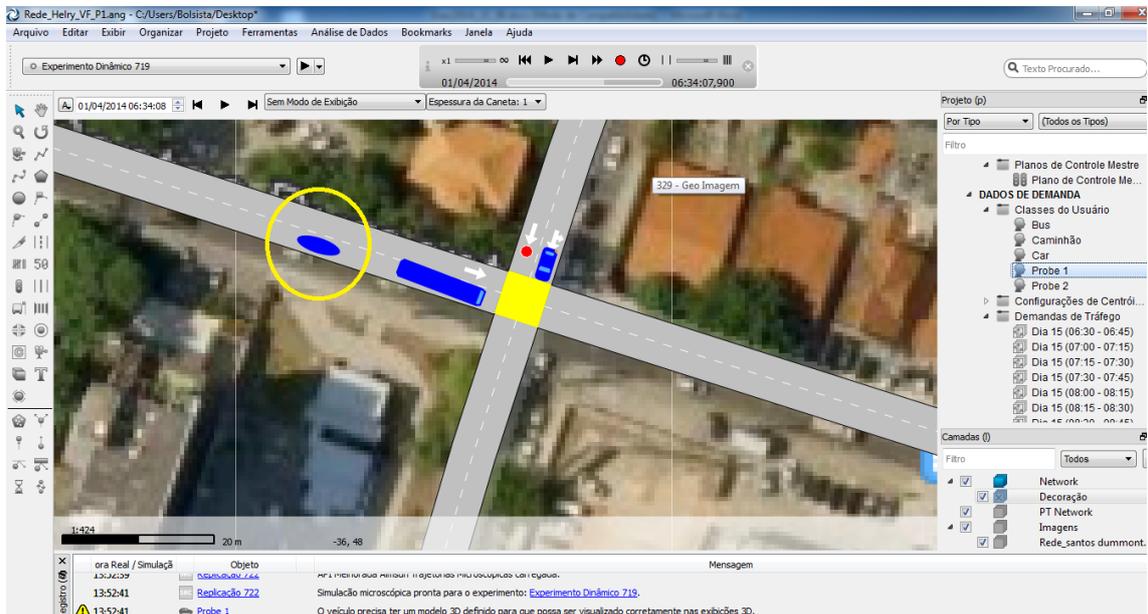


Figura 5.19b - Representação do veículo Probe (com aproximação de imagem) no simulador de tráfego AIMSUN.



Para o simulador de tráfego VISSIM, que apresentou maior capacidade de características do veículo, foi editar (para o veículo *Probe*): comprimento (m); eixo frontal (m); eixo traseiro (m); massa (kg); potência (kw) e aceleração (m/s^2).

As Figuras 5.20a e 5.20b apresentam ilustrações do veículo *Probe* em sua travessia pelo trecho selecionado, em visualização aberta e com aproximação da imagem, no simulador de tráfego VISSIM, respectivamente.

Figura 5.20a - Representação do veículo Probe no simulador de tráfego VISSIM

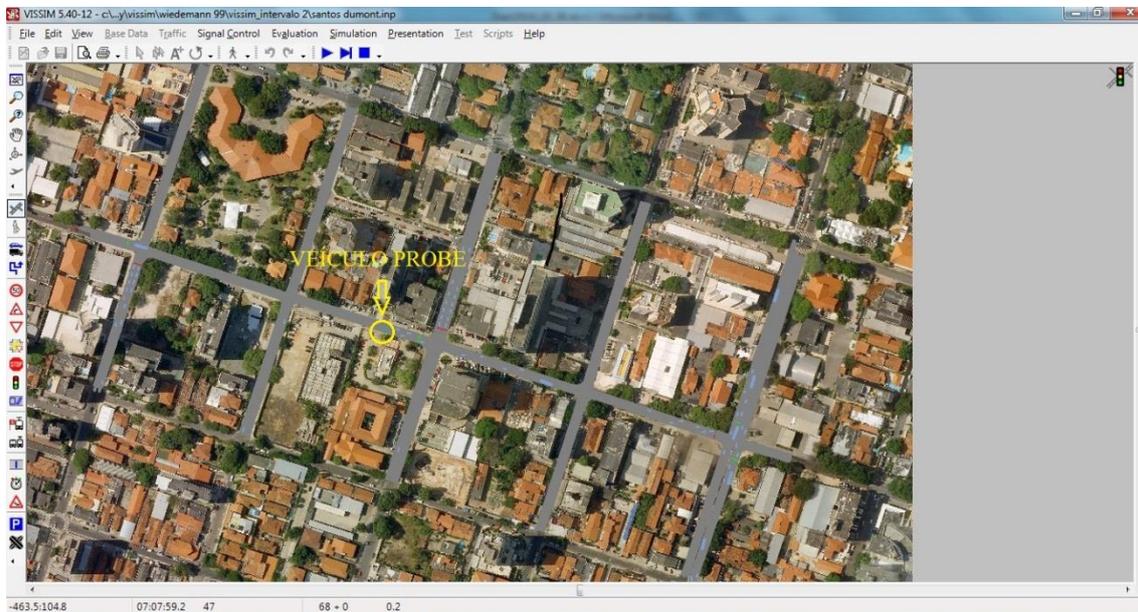


Figura 5.20b - Representação do veículo Probe (com aproximação de imagem) no simulador de tráfego VISSIM



Para o simulador de tráfego INTEGRATION, os dados de volume tiveram que ser convertidos em fluxos OD. Tal procedimento foi possível com auxílio do QueensOD, uma extensão desenvolvida para reconstrução da matriz OD sintética e que é utilizada em conjunto com o INTEGRATION. Para redes similares ao tipo estudado, o

programa apresenta bom desempenho (Rakha et al, 2003). Também foram editadas as características veiculares: massa (kg); comprimento (m); proporção da massa no eixo trator; coeficiente de fricção dos pneus; potência do veículo (kw); eficiência da transmissão; coeficiente de arrasto; área frontal (m²) e coeficiente de rolamento. Um veículo *Probe* foi estabelecido.

As Figuras 5.21a e 5.21b apresentam ilustrações do veículo *Probe* em sua travessia pelo trecho selecionado, em visualização aberta e com aproximação da imagem, no simulador de tráfego INTEGRATION, respectivamente.

Figura 5.21a - Representação do veículo Probe no simulador de tráfego INTEGRATION

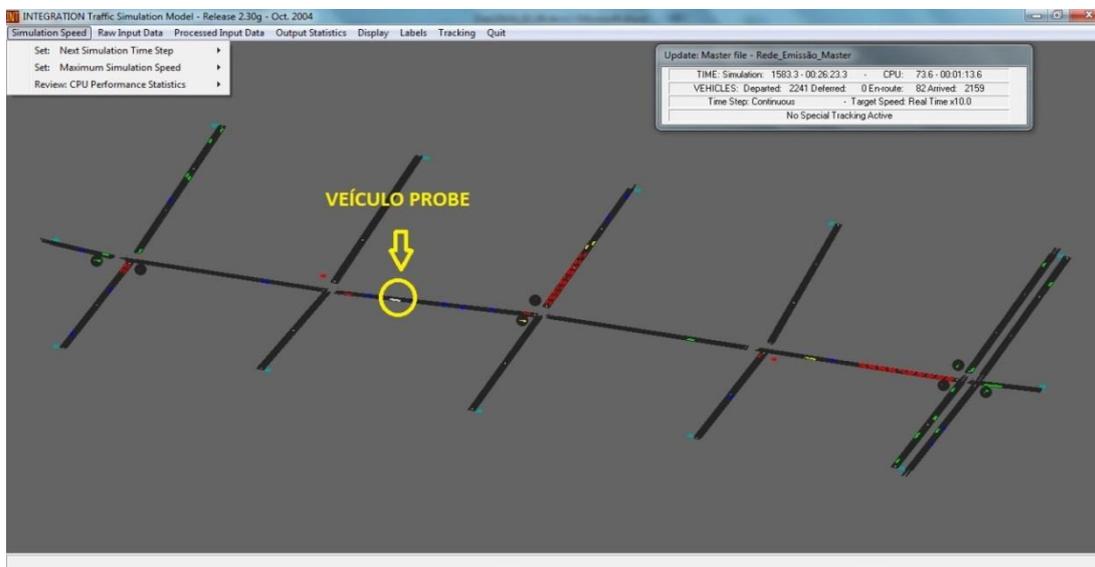
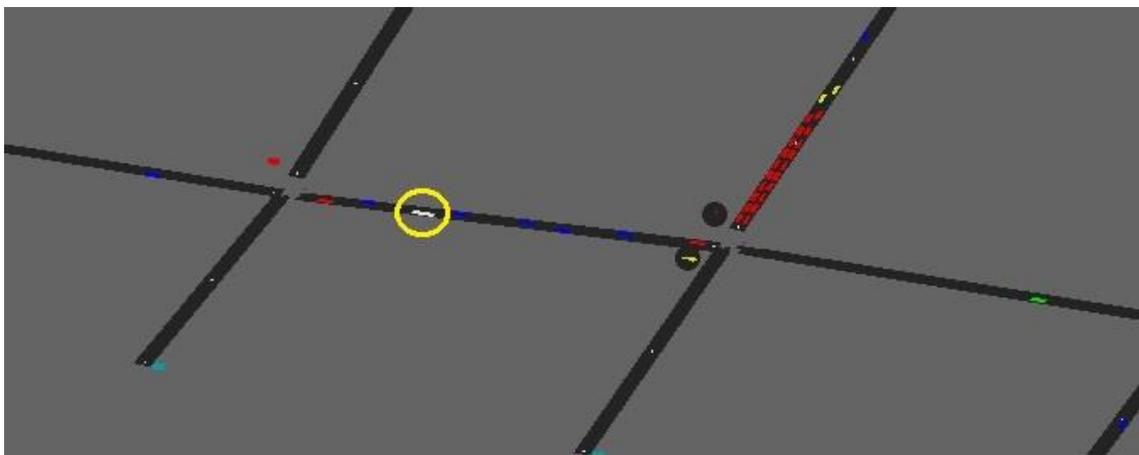


Figura 5.21b - Representação do veículo Probe (com aproximação de imagem) no simulador de tráfego INTEGRATION

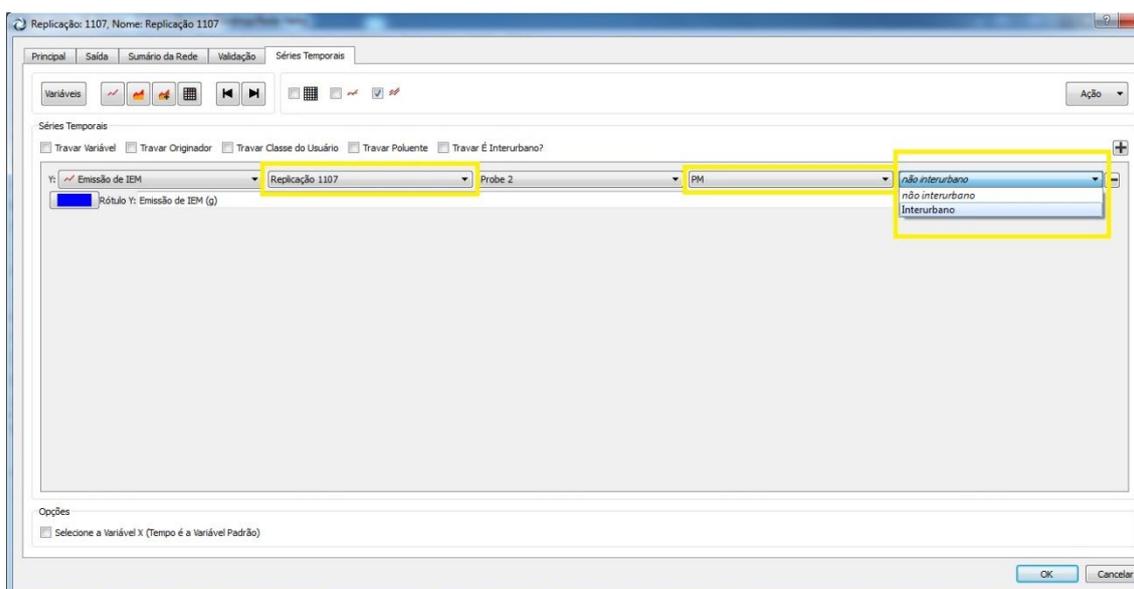


5.8. TRATAMENTO DOS DADOS SIMULADOS

Tal atividade metodológica teve por objetivo atender a análise a respeito dos simuladores estudados, com a respectiva geração dos resultados das emissões provenientes dos veículos *Probe* codificados. Segundo Wiegand e Yang (2011), são necessárias pelo menos dez rodadas de simulação (com diferentes sementes aleatórias) para a estabilização dos resultados, considerando as médias para dados como velocidade e densidade de tráfego. Desta forma, para os simuladores de tráfego AIMSUN e VISSIM foram realizadas dez simulações para cada um dos seis cenários analisados, com tempo de aquecimento de 15 minutos cada.

O simulador de tráfego AIMSUN apresenta internamente em seu pacote de simulação o modelo de emissão integrado, conforme ilustrado na Figura 5.22.

Figura 5.22 - Ilustração da tela de seleção dos dados do modelo de emissão presente no simulador AIMSUN

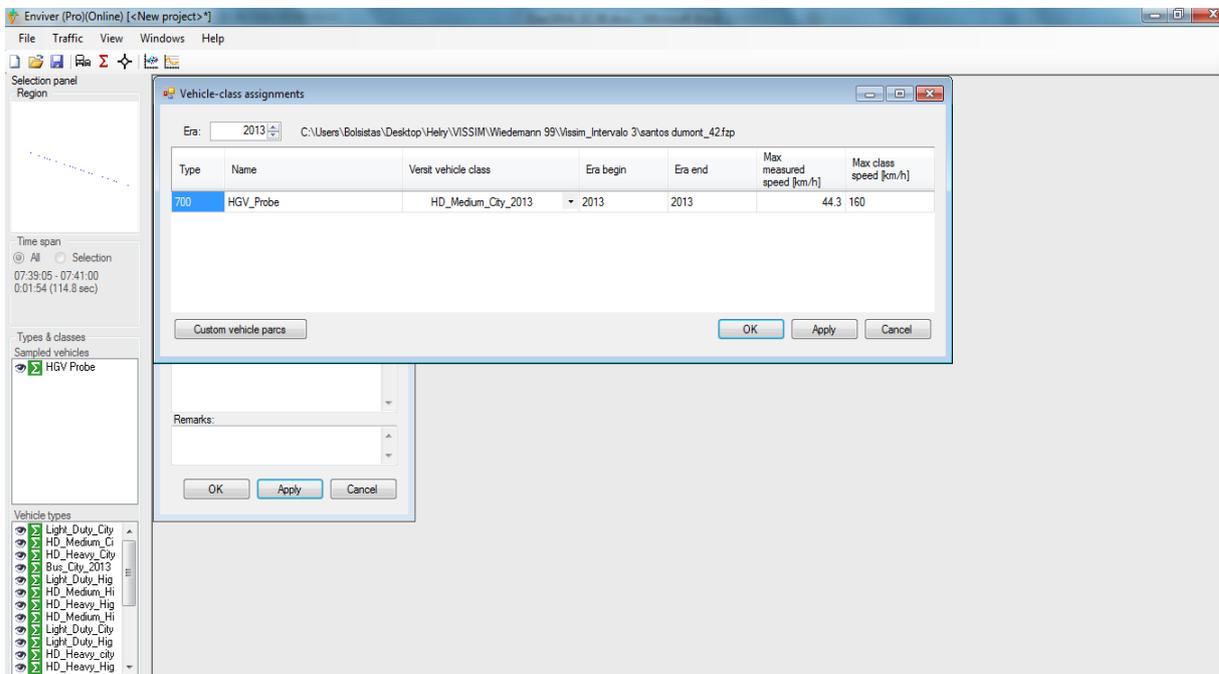


Neste caso, dentro da área de seleção de dados de saída desejados, foi possível selecionar: dados de emissão; a replicação desejada (semente aleatória); classe de veículo analisado (no caso do estudo, o veículo *Probe*); poluente estimado; e se o percurso realizado na simulação era desenvolvido em trecho interurbano ou não.

Por sua vez, o simulador de tráfego VISSIM, em sua versão básica, não apresenta internamente um modelo de emissões. Neste caso, é necessária a aquisição do módulo ENVIVER. Tal módulo é capaz de integrar ao simulador de tráfego o modelo

de emissão. A Figura 5.23 ilustra a aplicação do módulo de emissão, onde foram realizados dez levantamentos para cada cenário, considerando as sementes aleatórias.

Figura 5.23 - Ilustração da tela de seleção dos dados do modelo de emissão que pode ser integrado ao simulador de tráfego VISSIM



No módulo de emissão ENVIVER (como no modelo de emissão presente no simulador AIMSUN) também é possível selecionar o tipo de trecho, denominado *City* ou *Highway*, referentes a trechos urbanos ou interurbanos, respectivamente.

O simulador de tráfego INTEGRATION apresenta internamente a disponibilidade de verificação das emissões em seus dados de saída. Tais dados são automaticamente disponibilizados junto ao arquivo de resultados, que traz todos os dados oriundos das simulações. A Figura 5.24 ilustra como verificar os dados de emissão resultantes do INTEGRATION.

Figura 5.24 - Ilustração da tela de verificação dos dados de saída da simulação no INTEGRATION, com dados de emissão destacados

The screenshot shows a spreadsheet-like interface with a table of simulation data. The columns represent various parameters, and the rows represent individual simulation runs. Several cells are highlighted in red, indicating specific emission data points. The highlighted values include 155.6, 0.02201, 0.50856, and 0.06834.

Após as rodadas de simulação, os dados de emissão foram tratados, calculou-se as médias em gramas por quilômetro. Na Tabela 5.16 são apresentados os dados que cada simulador pode gerar. Tais dados referem-se ao veículo Iveco, configurado como *Probe*.

Tabela 5.16 - Emissões médias estimadas em cada simulador nos circuitos (horários) percorridos

SIMULADOR	POLUENTE	Ciclo 2	Ciclo3	Ciclo4	Ciclo5	Ciclo6	Ciclo7
AIMSUN	(CO ₂)	3077,49	3409,10	2842,34	2707,66	2651,86	2671,26
	(MP)	0,57069	0,64655	0,53793	0,48103	0,47759	0,47241
	(NO _x)	21,2620	23,7138	19,9879	19,3328	19,3121	19,23
VISSIM	(CO ₂)	1369,21	1447,17	1420,62	1302,10	1386,29	1283,03
	(MP)	0,28691	0,28379	0,3045	0,27860	0,29614	0,27224
	(NO _x)	13,3865	14,1395	13,9879	12,7929	13,6502	12,6252
SIMULADOR	POLUENTE	Ciclo 2	Ciclo3	Ciclo4	Ciclo5	Ciclo6	Ciclo7

INTEGRATION	(CO)	0,87758	0,82931	0,68276	0,47069	0,66724	0,66207
	(NO _x)	0,11724	0,10517	0,10345	0,07241	0,11034	0,09655

5.9. CONFRONTO DOS DADOS DE EMISSÃO COLETADOS EM CAMPO E SIMULADOS

Para o comparativo dos dados simulados com os reais, extraiu-se as diferenças absolutas e relativas dos dados das emissões estimados pelos simuladores e dos dados reais. Os comparativos estão apresentados nas Tabelas 5.17 a 5.22 (em gramas/quilômetro). Nesta primeira análise, os dados provenientes das simulações foram considerando como *Probe* o veículo Iveco e os dados reais obtidos do monitoramento deste veículo. Com a execução desta etapa, busca-se determinar qual simulador foi capaz de gerar dados de emissão próximos aos reais, sem empreender esforço de calibração, ou seja, considerando apenas os parâmetros *default*.

Como medida de desempenho de tráfego escolhida para o cenário analisado, foram considerados os tempos de viagem realizados pelo veículo monitorado (apresentado nas tabelas com T.V.). Neste caso, o simulador que mais se aproximou dos tempos de viagem observados em campo foi o AIMSUN, com um erro médio de subestimação de 5,40%. Neste estudo, os parâmetros de tráfego inseridos em cada um dos simuladores foram calibrados em trabalhos prévios desenvolvidos no GTTEMA.

No campo das emissões, para efeitos de comparação, será assumido que os principais poluentes emitidos por veículos com motorização ciclo Diesel são os Óxidos de Nitrogênio (NO_x) e Materiais Particulados (MP). Tal simplificação foi adotada com amparo na revisão teórica realizada e discutida nos capítulos anteriores.

Tabela 5.17a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo 2

Ciclo 2 (7:00 - 7:15)				
	Integration	Vissim	Aimsun	Real
MP:		0,28691	0,57069	0,72517
CO:	0,87758621			0,49794
NO _x :	0,11724138	13,3866	21,2621	0,4361
CO ₂ :		1369,21	3077,49	0,07282
T.V.:	155,6	124,14	125,37	132,5

Tabela 5.17b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo 2

	Diferença Absoluta			Diferença Relativa			Diferença (simulado - real)		
	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun
MP		0,43825	0,15448		-0,6043	-0,213		-0,4383	-0,1545
CO	0,3796508			0,7624499			0,3796508		
NO _x	0,31886012	12,9505	20,826	-0,7311603	29,696	47,7549	-0,3188601	12,9505	20,826
CO ₂		1369,13	3077,42		18802,2	42262		1369,13	3077,42

Tabela 5.18a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo3

Ciclo3 (7:15 - 7:30)				
	Integration	Vissim	Aimsun	Real
MP:		0,28379	0,64655	0,36553
CO:	0,82931034			0,2286
NO _x :	0,10517241	14,1395	23,7138	0,36586
CO ₂ :		1447,17	3409,1	0,04338
T.V.:	148,7,2	127,36	149,71	125,3

Tabela 5.18b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo3

	Diferença Absoluta			Diferença Relativa			Diferença (simulado - real)		
	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun
MP		0,08174	0,28102		-0,2236	0,7688		-0,0817	0,28102
CO	0,60070596			2,6277097			0,60070596		
NO _x	0,26068687	13,7736	23,3479	-0,7125332	37,6473	63,8167	-0,2606869	13,7736	23,3479
CO ₂		1447,13	3409,06		33356,6	78579,4		1447,13	3409,06

Tabela 5.19a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo4

Ciclo4 (7:30 - 7:45)				
	Integration	Vissim	Aimsun	Real
MP:		0,3045	0,53793	0,51227
CO:	0,68275862			0,35046
NO _x :	0,10344828	13,9879	19,9879	0,52191
CO ₂ :		1420,62	2842,34	0,0827
T.V.:	146,7	138,12	152,33	143,1

Tabela 5.19b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo4

	Diferença Absoluta			Diferença Relativa			Diferença (simulado - real)		
	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun
MP		0,20777	0,02566		-0,4056	0,0501		-0,2078	0,02566
CO	0,33229726			0,9481709			0,33229726		
NO _x	0,41846637	13,466	19,466	-0,8017908	25,8012	37,2973	-0,4184664	13,466	19,466
CO ₂		1420,53	2842,26		17176,8	34368,1		1420,53	2842,26

Tabela 5.20a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo5

Ciclo5 (8:00 - 8:15)				
	Integration	Vissim	Aimsun	Real
MP:		0,2786	0,48103	0,66556
CO:	0,47068966			0,25058
NO _x :	0,07241379	12,7929	19,3328	0,32826
CO ₂ :		1302,1	2707,66	0,04347
T.V.:	126,2	130,34	129,16	138,6

Tabela 5.20b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo5

	Diferença Absoluta			Diferença Relativa			Diferença (simulado - real)		
	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun
MP		0,38695	0,18452		-0,5814	-0,2772		-0,387	-0,1845
CO	0,22011295			0,8784255			0,22011295		
NO _x	0,25584457	12,4647	19,0045	-0,7794	37,9721	57,8949	-0,2558446	12,4647	19,0045
CO ₂		1302,06	2707,62		29955,6	62292,3		1302,06	2707,62

Tabela 5.21a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo6

Ciclo6 (8:15 - 8:30)				
	Integration	Vissim	Aimsun	Real
MP:		0,29614	0,47759	0,42252
CO:	0,66724138			0,2246
NO _x :	0,11034483	13,6502	19,3121	0,31742
CO ₂ :		1386,29	2651,86	0,04705
T.V.:	83,7	145,52	148,13	140,2

Tabela 5.21b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo6

	Diferença Absoluta			Diferença Relativa			Diferença (simulado - real)		
	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun
MP		0,12639	0,05506		-0,2991	0,13032		-0,1264	0,05506
CO	0,44264046			1,9707865			0,44264046		
NO _x	0,20707155	13,3328	18,9947	-0,6523657	42,004	59,8414	-0,2070716	13,3328	18,9947
CO ₂		1386,25	2651,82		29463,9	56363		1386,25	2651,82

Tabela 5.22a - Dados das emissões coletados em campo e em cada simulador analisado, referentes ao Ciclo7

Ciclo7 (8:30 - 8:45)				
	Integration	Vissim	Aimsun	Real
MP:		0,27224	0,47241	0,75176
CO:	0,66206897			0,30115
NO _x :	0,09655172	12,6252	19,2345	0,34533
CO ₂ :		1283,03	2671,26	0,04093
T.V.:	137,7	133,98	128,21	129,4

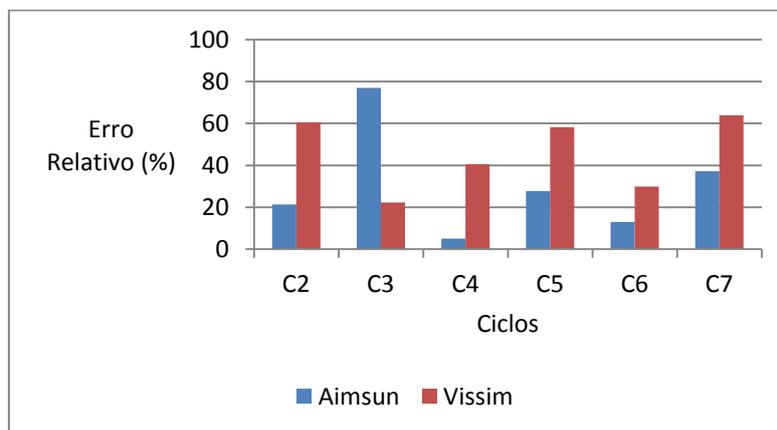
Tabela 5.22b - Diferenças absolutas e relativas dos dados referentes ao Ciclo 7

	Diferença Absoluta			Diferença Relativa			Diferença (simulado - real)		
	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun	Integration	Vissim	Aimsun
MP		0,47952	0,27934		-0,6379	-0,3716		-0,4795	-0,2793
CO	0,36091556			1,1984442			0,36091556		
NO _x	0,248777	12,2798	18,8892	-0,7204063	35,5599	54,6991	-0,248777	12,2798	18,8892
CO ₂		1282,99	2671,22		31345,1	65261,1		1282,99	2671,22

Os campos não preenchidos e destacados nas tabelas apresentadas são referentes aos poluentes cujas estimativas os simuladores marcados não podem realizar, devido aos modelos não terem sido preparados de forma a representar tal poluente.

Para as emissões de Materiais Particulados (MP), foram observados elevados erros percentuais dos simuladores (AIMSUN e VISSIM), como pode ser visualizado na Figura 5.25, em que no eixo das abscissas são indicados os ciclos (C2 a C7) e nas ordenadas o valor do erro relativo dado em %.

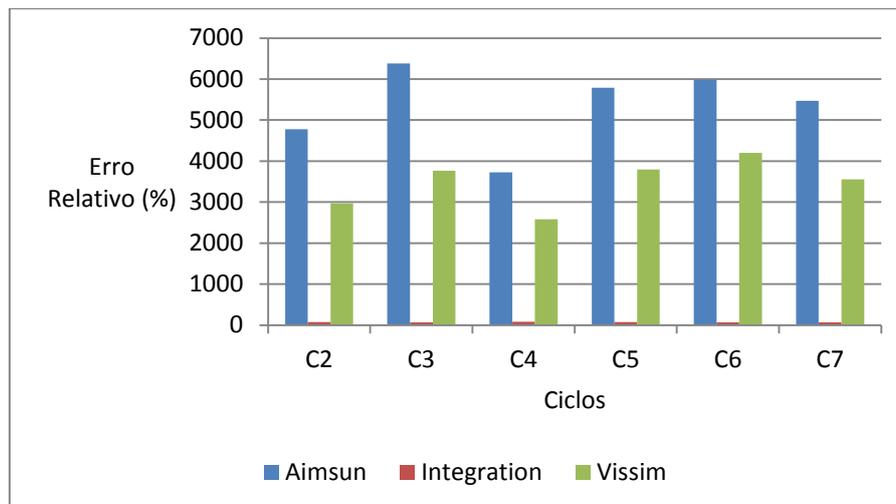
Figura 5.25 - Gráfico comparativo de erros percentuais das estimativas das emissões de MP



O simulador de tráfego AIMSUN apresentou erros percentuais significativamente menores em 5 dos 6 ciclos analisados. Contudo, nota-se que os valores dos erros apontam que há diferenças entre os valores reais, obtidos em campo, e aqueles provenientes dos modelos. Tal fato pode ter ocorrido devido a não ter sido empregado adequado esforço de calibração no modelo. Entendendo que o simulador VISSIM apresentou dados de emissões mais elevados em quase todos os experimentos, pode-se supor que o modelo de emissão em questão possa ter sido calibrado com veículos que apresentaram maiores emissões, na realidade a qual foram submetidos os testes.

A mesma análise é apresentada para Óxidos de Nitrogênio (NOx). Na Figura 5.26 são plotadas as diferenças relativas por ciclo de análise para cada simulador. Destaca-se que no eixo das abscissas são indicados os ciclos (C2 a C7) e nas ordenadas o valor do erro relativo dado em %.

Figura 5.26 - Gráfico comparativo de erros percentuais das estimativas das emissões de Óxidos de Nitrogênio, nos 6 Ciclos analisados



Nitidamente o simulador de tráfego INTEGRATION apresentou erros percentuais menores em todos os ciclos analisados. AIMSUN e VISSIM apresentaram erros muito superiores para NO_x . Neste caso, além da hipótese de calibração não adequada, acredita-se que o modelo inserido no INTEGRATION é capaz de representar mais adequadamente as emissões de NO_x .

Comparando MP e NO_x , verifica-se que os simuladores AIMSUN e INTEGRATION, respectivamente são capazes de aproximar melhor os resultados de campo para cada um dos poluentes analisados.

Dentre os simuladores estudados, apenas o AIMSUN e VISSIM apresentam em seus modelos a capacidade de estimar emissões de Materiais Particulados, o que pode ser considerado uma limitação do INTEGRATION, para estudos de emissões provenientes de veículos movidos a diesel. Neste caso o AIMSUN mostra-se mais eficiente. Para as emissões dos Óxidos de Nitrogênio, poluente fortemente presente nas emissões de veículos ciclo Diesel, os três simuladores estudados são capazes de realizar as estimativas. O simulador de tráfego INTEGRATION mostrou-se mais preciso na estimativa deste poluente, quando comparado com os dados de emissões reais coletados em campo e sem a realização de um esforço de calibração do modelo de emissão. Ademais, o INTEGRATION e seu modelo de emissão VT-MICRO são capazes de estimar emissões de Monóxido de Carbono (sendo o único, dentre os simuladores analisados, capaz de realizar tais estimativas).

Portanto, devido à capacidade de melhor representar as emissões de Materiais Particulados e de Óxidos de Nitrogênio e Monóxido de Carbono, os simuladores AIMSUN e INTEGRATION foram selecionados como ferramentas capazes de aproximar os valores simulados dos observados em campo, quando não é feita a devida calibração. Ainda assim, nota-se que os valores obtidos estão distantes da realidade, o que reforça a necessidade de se ajustar o modelo às condições reais, ou seja, empreender um adequado esforço de calibração nos modelos de emissão.

Feita esta definição, buscando avaliar o impacto da configuração dos veículos nas emissões, ou seja, comparar veículos VUC com não VUC, foram estudadas as variações das emissões, por meio de simulação, para os três veículos de carga pesquisados. Neste caso, em cada um dos dois simuladores selecionados foram realizadas 3 simulações, cada uma com o *Probe* correspondente ao veículo em estudo. As três simulações consideraram os mesmos fluxos de tráfego dentro dos Ciclos realizados nos experimentos, não impondo nenhum tipo de variação. Os dados de emissões apresentados nas Tabelas 5.23 a 5.28 comparam os diferentes veículos sob as mesmas condições de tráfego. No caso do simulador AIMSUN com as mesmas sementes aleatórias (dados de emissões em gramas/quilômetro e tempos de viagem em segundos). Os veículos chamados de Probe1, Probe 2 e Probe 3 são referentes aos veículos Iveco (4400 kg), Volksvagem (9000 kg) e Ford (23000 kg), respectivamente.

Tabela 5.23 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 2 (07:00h – 07:15h)

	Probe1		Probe2		Probe3	
	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun
MP:		0,57069		0,46600		0,41000
CO:	0,87758621		0,62617		0,58439	
NO _x :	0,11724138	21,2621	0,10187	20,962	0,09053	20,175
CO ₂ :		3077,49		2699,54		2463,23
T.V.:	155,6	125,37	163,3	146,9	164,3	156,07

Tabela 5.24 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 3 (07:15h – 07:30h)

	Probe1		Probe2		Probe3	
	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun
MP:		0,64655		0,534		0,527
CO:	0,82931034		0,59218		0,56417	
NO _x :	0,10517241	23,7138	0,09493	23,464	0,08651	22,950
CO ₂ :		3409,1		2984,75		2980,99
T.V.:	148,7,2	149,7	154,0	174,0	156,3	191,5

Tabela 5.25 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 4 (07:30h – 07:45h)

	Probe1		Probe2		Probe3	
	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun
MP:		0,53793		0,43200		0,39300
CO:	0,68275862		0,58772		0,53978	
NO _x :	0,10344828	19,9879	0,09995	18,99	0,08750	18,194
CO ₂ :		2842,34		2429,17		2291,19
T.V.:	146,7	152,33	149,4	162,7	150,4	177,01

Tabela 5.26 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 5 (08:00h – 08:15h)

	Probe1		Probe2		Probe3	
	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun
MP:		0,48103		0,41700		0,383
CO:	0,47068966		0,46248		0,46087	
NO _x :	0,07241379	19,3328	0,07133	19,202	0,07109	19,159
CO ₂ :		2707,66		2491,70		2337,90
T.V.:	126,2	129,2	126,3	142,6	126,3	156,37

Tabela 5.27 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 6 (08:15h – 08:30h)

	Probe1		Probe2		Probe3	
	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun
MP:		0,47759		0,40100		0,398
CO:	0,66724138		0,52969		0,47998	
NO _x :	0,11034483	19,3121	0,10049	19,311	0,08566	19,112
CO ₂ :		2651,86		2413,16		2339,26
T.V.:	83,7	148,1	88,1	159,5	89,4	184,6

Tabela 5.28 - Dados das emissões referentes a cada configuração veicular, para o Ciclo 7 (08:30h – 08:45h)

	Probe1		Probe2		Probe3	
	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun	Integration	Aimsun
MP:		0,47241		0,415		0,386
CO:	0,66206897		0,59017		0,55218	
NO _x :	0,09655172	19,2345	0,09665	19,183	0,08602	19,002
CO ₂ :		2671,26		2457,50		2337,40
T.V.:	137,7	128,21	141,4	142,2	145,0	160,51

Pode-se observar que houve aumento nos tempos de viagem à medida que o veículo torna-se mais pesado. Esta constatação sintetizada na Figura 5.27, que ilustra os tempos médios de viagem dos três veículos nos 6 Ciclos. Tal fato ocorre em função das menores acelerações desenvolvidas pelos veículos de maior porte. Ademais, na mesma ordem, houve diminuição das emissões. Isso ocorreu, e era esperado, devido aos modelos matemáticos considerarem as emissões diretamente proporcionais aos valores de aceleração máxima. Como os veículos mais pesados desenvolvem menores acelerações máximas, são observadas as menores emissões. Nas Figuras 5.28a e 5.28b, que ilustram as emissões médias de NO_x (dos 6 Ciclos) nos dois simuladores, tal constatação pode ser visualizada. Tal fato, não necessariamente, corrobora, individualmente, com as observações de campo, o que leva à necessidade de maior atenção aos modelos e sua representatividade.

Figura 5.27 - Tempos médios de viagem para cada veículo Probe nos simuladores AIMSUN e INTEGRATION

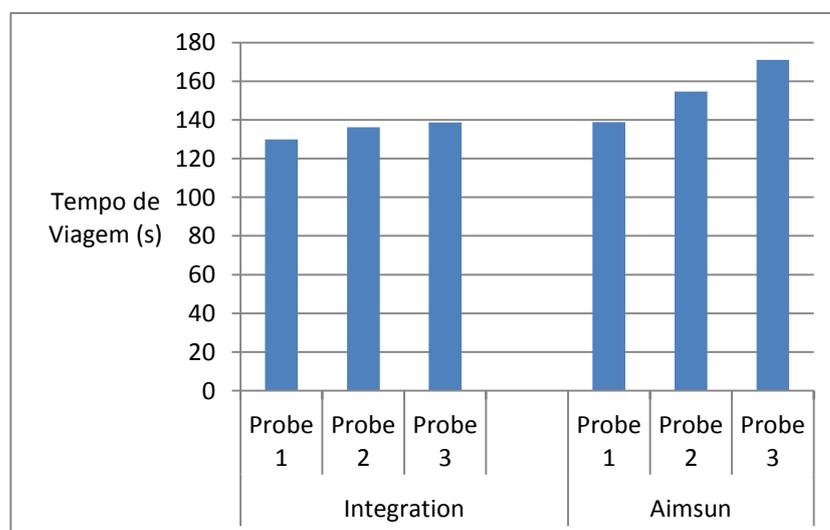
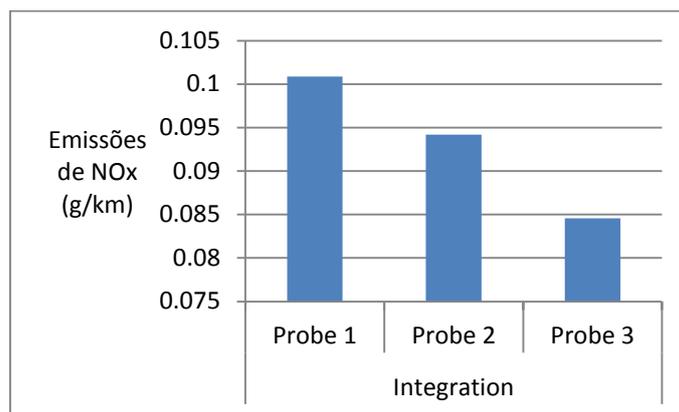
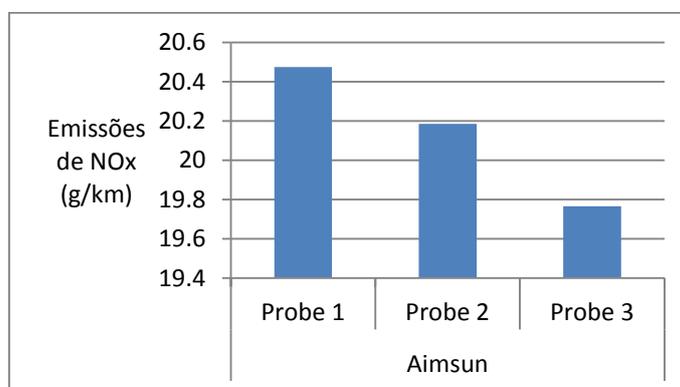
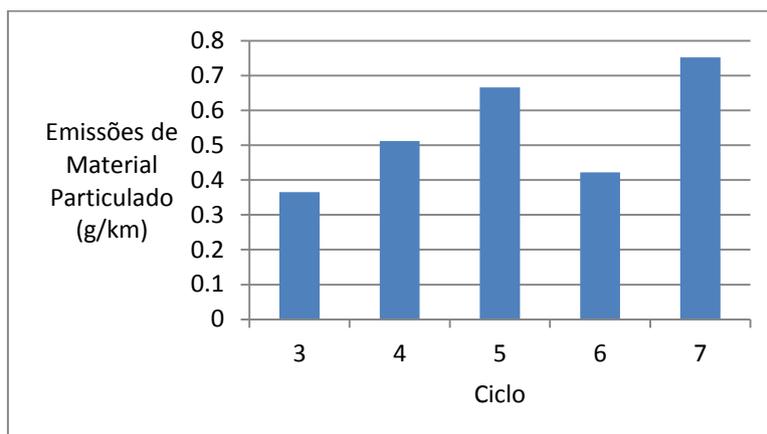
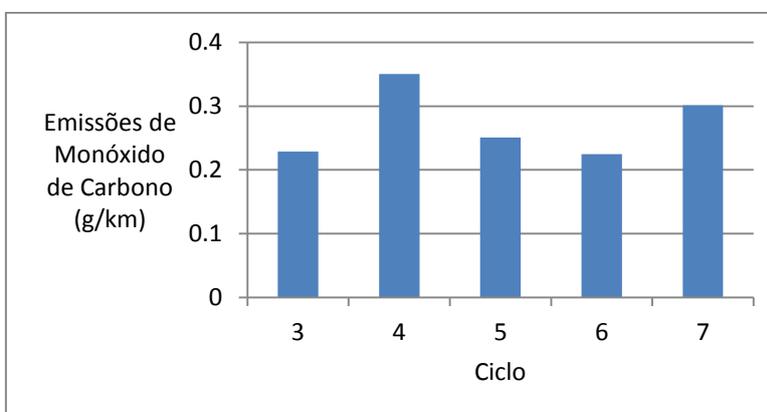
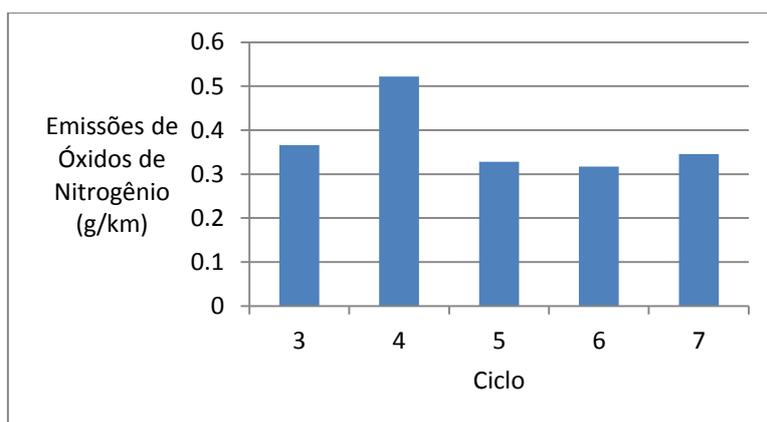


Figura 5.28a - Emissões médias para cada veículo Probe no simulador INTEGRATION**Figura 5.28b** - Emissões médias para cada veículo Probe no simulador AIMSUN

Como último ponto do experimento proposto, foram confrontados os dados de emissões em diferentes situações de carregamento de tráfego, considerando os dados reais. O objetivo deste ponto em questão era o de analisar possíveis impactos do tráfego sobre as emissões.

Nesta análise o Ciclo 2 foi desconsiderado, devido o veículo não estar plenamente aquecido. Como apresentado nas Figuras 5.29a, 5.29b e 5.29c, a partir do Ciclo 3, que apresenta menor fluxo de tráfego, os volumes observados tendem a aumentar. Observou-se que, seguindo o padrão de aumento do volume de tráfego, são observados aumentos nos totais de emissões de Materiais Particulados, excetuando o Ciclo 6, possivelmente pela possibilidade de menores acelerações por parte do condutor. Os demais poluentes não apresentaram um padrão perceptível em seus índices, podendo ter sido observado em função do baixo número de amostras, impossibilitando uma análise mais precisa.

Figura 5.29a - Emissões observadas do Ciclo 3 ao 7, para Materiais Particulados**Figura 5.29b** - Emissões observadas do Ciclo 3 ao 7, para Monóxido de Carbono**Figura 5.29c** - Emissões observadas do Ciclo 3 ao 7, para Óxidos de Nitrogênio

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Neste capítulo é descrita a última etapa do método proposto, buscando apresentar as conclusões a respeito do trabalho. As indagações, que motivaram a realização da pesquisa, apresentadas no primeiro capítulo, serão aqui respondidas. Para tanto, o presente capítulo está dividido em três seções: (6.1) Breve exposição do trabalho; (6.2) Principais conclusões; (6.3) Sugestões para trabalhos futuros.

6.1 – BREVE EXPOSIÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho integra a linha de pesquisa desenvolvida no Departamento de Engenharia de Transportes da UFC sob orientação do Professor Adjunto Bruno Vieira Bertoncini. Esta linha aspira compreender os impactos, sob a ótica da sustentabilidade social, econômica e ambiental, que veículos transportadores de carga podem ocasionar, durante a circulação e operações de distribuição de mercadorias, em áreas urbanas adensadas, onde é verificada a presença de comércios e serviços.

A meta deste trabalho foi verificar a capacidade de se modelar a emissão de poluentes provenientes dos veículos transportadores de carga em áreas urbanas adensadas, por meio de modelos integrados de emissão e simulação de tráfego, em conjunto ao seu comparativo com emissões reais coletadas em campo. Para isto, seis objetivos foram estabelecidos para o alcance da meta:

- Desenvolvimento de uma metodologia de coleta de emissão de poluentes provenientes de veículos transportadores de carga urbana;
- Análise do desempenho de simuladores de tráfego integrados a modelos de emissão, objetivando estabelecer relações que possibilitem identificar qual (ais) mais se aproxima (m) das medidas de desempenho obtidas em campo;
- Confronto entre as emissões monitoradas em campo com os limites de emissões estabelecidos pelas leis vigentes;

- Confronto entre os dados reais de emissão de um veículo monitorado e os dados de emissão disponibilizados pelo simulador;
- Comparação das emissões provenientes de veículos estabelecidos como veículos urbanos de carga (VUC) e veículos fora de suas especificações, tendo em vista que este tipo de ação tem sido proposta como uma das principais medidas mitigadoras adotadas para melhoria da mobilidade urbana em municípios brasileiros;

Serão discutidas, brevemente, as conclusões para cada uma das etapas que constituíram o método.

6.1.1 Revisão Teórica

Através da leitura dos artigos foi possível perceber que a maioria dos estudos para o processo de planejamento urbano não consideram os impactos ambientais decorrentes das emissões provocadas pelos veículos, mas avaliam, principalmente, questões relacionadas aos impactos no tráfego. Considerando a ausência dos estudos no âmbito das emissões é que buscou-se desenvolver o presente trabalho.

Além disso, foi possível compreender que a modelagem de emissões pode ser utilizada como ferramenta para inclusão de discussões ambientais, quando realizados estudos para o processo de planejamento urbano.

6.1.2 Detalhamento da Proposta

As vantagens da proposta apresentada são: desenvolvimento de uma metodologia de coleta emissões embarcada, onde considera as emissões no ambiente real de uso comum de veículos transportadores de carga, diferentemente de métodos estáticos de coleta, comumente utilizados; a coleta possibilitou avaliar o dinamismo do tráfego nas emissões; verificar particularidades da modelagem de emissões de veículos de carga, como dimensões, tipos de poluentes, entre outros.

6.1.3 Experimento e Análise dos Resultados

Contando com o apoio do Departamento de Engenharia Mecânica da UFC, do Departamento de Ciências Físicas Aplicadas da UECE e do Departamento de Química e Meio Ambiente do IFCE, foi possível construir a metodologia de coleta

embarcada com recursos e equipamentos já existentes e com a aquisição de novos equipamentos durante o período da pesquisa.

Foi possível observar a capacidade de edição de características veiculares em cada um dos simuladores analisados, tendo o simulador de tráfego AIMSUN se mostrado com menor capacidade de edição de parâmetros e o simulador VISSIM com a maior capacidade, o que pode interferir diretamente nos modelos de emissão integrados, pois todos consideram a velocidade e aceleração, impactados pela edição das características dos veículos.

Os simuladores de tráfego são capazes de realizar a modelagem de emissão, porém com vantagens e limitações para tipos distintos de poluentes. Tal fato levou a conclusão que AIMSUN e INTEGRATION foram capazes de gerar resultados menos piores, quando comparados aos dados reais, em uma situação em que não é empregado esforço de calibração dos modelos de emissão. Reforça-se aqui que ao longo da pesquisa bibliográfica, os relatos sobre a calibração dos modelos de emissão em análises de sistemas de transportes foram mínimos, praticamente escassos.

6.2 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Observou-se que modelos de emissão de poluentes integrados a simuladores de tráfego podem ser usados como ferramentas para estudos de emissões em campo, porém, pela discrepância observada dos dados coletados em campo e os gerados pelos simuladores, faz-se necessário um processo acurado de calibração dos modelos, tendo em vista que os valores calibrados *default* foram obtidos para realidades distintas das áreas urbanas adensadas brasileiras, avaliada no presente esforço.

Os modelos de emissão integrados aos simuladores AIMSUN e INTEGRATION apresentam, como dados de entrada, as velocidades e acelerações, para o cálculo das emissões, já o modelo presente no simulador VISSIM solicita como um dos dados de entrada para a estimativa de emissões a potência do motor do veículo (caminhões, no caso), o que pode ter levado a valores mais distantes dos reais (em função das diferentes características veiculares do país onde foi construído o modelo).

Para concluir o texto, as questões sugeridas no capítulo introdutório e que motivaram a realização deste trabalho, são agora respondidas:

- É possível aplicar uma metodologia de coleta embarcada e dinâmica para avaliar as emissões provenientes dos veículos transportadores de carga em áreas urbanas?

Sim. Foi possível executar o esforço de coleta de emissões com a metodologia embarcada, porém, problemas (com possível correção) ocorreram durante o processo de coleta, como: queda do tubo extensor do escapamento devido à trepidação; foi verificada a existência de condensado no interior do porta-filtro (cassete), por conta da diminuição da temperatura, o que poderia levar a uma “lavagem” dos poluentes.

- Como relacionar as emissões de poluentes com o tráfego, de forma a ser possível fazer previsões em cenários futuros, ou naqueles em que não seja possível coletar dados *in loco*?

Através dos dados reais, foi observado que as emissões de Materiais Particulados aumentam com o aumento no fluxo de tráfego, porém para os Óxidos de Carbono e Nitrogênio não foi observada tal variação, portanto, para estudos onde serão consideradas as emissões de Particulados, deve-se considerar como prejudicial o aumento no fluxo de veículos para as emissões de veículos de carga.

- Que parâmetros contribuem para a escolha de um modelo integrado (simulação + emissão) que se adeque ao tipo de transporte estudado?

Os parâmetros observados foram: capacidade de se considerar o tipo de veículo desejado (veículos pesados, leves, ônibus, entre outros); capacidade de analisar os principais tipos de poluentes emitidos pelo veículo em estudo (no caso, veículos de carga); proximidade dos dados de emissão disponibilizados pelo simulador com os dados de emissão coletados na realidade analisada.

- Como medidas mitigadoras à distribuição de carga urbana podem influenciar nos impactos ambientais, no que diz respeito à emissão de poluentes atmosféricos?

Por este esforço de pesquisa notou-se que medidas mitigadoras adotadas podem trazer interferências no sistema de transporte e na mobilidade urbana, não

garantindo a manutenção da sustentabilidade, sendo aqui observada sob o princípio ambiental. Notou-se que veículos com maior dimensão que as do VUC contribuíram para uma menor emissão de poluentes, quando comparado ao veículo regulamentado. Tal constatação merece um pouco mais de análise e reflexão, principalmente ao se analisar apenas um tipo representativo de cada categoria. Assim, tal questionamento ainda merece maior atenção e esforço de pesquisa. Mas caso se faça uma análise proporcional, ou seja, cada 2 VUC corresponde a 1 não VUC, tem-se passivo gerado pelo VUC será maior que o pelo não VUC.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTUROS

A modelagem de emissão de poluentes é um campo de pesquisa que ainda permite muitos estudos. A abordagem apresentada neste trabalho verificou apenas uma parte muito específica. Desta forma, serão listados alguns pontos que podem servir de base para pesquisas futuras:

- Analisar as propostas de modelos de emissão, com o objetivo de verificar seu comportamento, em função de suas premissas, quando comparado com coletas em campo;
- Realização da calibração do modelo matemático de emissão, com o objetivo de obter dados mais próximos dos coletados em campo;
- Verificar o comportamento das emissões com a metodologia embarcada em outros tipos de veículos e confrontá-los com os dados simulados;
- Avaliar quais as principais características de desempenho ambiental devem ser consideradas ao analisar a distribuição urbana da carga;
- Analisar metodologias que contribuam para a proposição de medidas que sejam eficientes do ponto de vista ambiental;
- Avaliar as implicações, em termos de emissões de poluentes e tráfego, que podem ser obtidas com inserção de tecnologias que buscam minimizar as emissões de poluentes;

- Compreender o fenômeno da dispersão de poluentes atmosféricos e sua relação com o tráfego na análise de um sistema de transporte;
- Avaliar as características de um modelo de simulação de tráfego que devem ser consideradas em estudos de distribuição de cargas em áreas urbanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAGNANO, Nicola. *Dicionário de filosofia*. Trad. Alfredo Bosi. São Paulo: Mestre Jou, 1970.

ALKAFOURY *et al*, (2013).“Emissions Modelling for Road Transportation in Urban Areas: State-of-art-Review”.

AMBROSINI, C. e ROUTHIER, J. (2001) “Objectives, methods and results of surveys carried out in the field of urban freight transport: an international comparison”. Em: Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research, Seoul, South Korea.

AMBROSINI, C., MEIMBRESSE, B., ROUTHIER, J., SONNTAG, H. (2008) “Urban freight policy-oriented modelling in Europe”. Em: Innovations in City Logistics.

ANYA, A. R. (2013) “Application of AIMSUN Micro Simulation Model in Estimating Emissions on Signalized Arterial Corridors”.

ARAÚJO, D. R. C. (2003). “Comparação das simulações de tráfego dos modelos saturn e dracula”. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BARCELÓ, J. (2010) Fundamentals of Traffic Simulation. International Series in Operations Research & Management Science, Vol. 145, Ed. Springer.

BESTUFS, (2007). “Good Practice Guide on Urban Freight Transport”.

BRASIL, (2011). “Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas Por Veículos Automotores Rodoviários”.

CAIXETA-FILHO, J. V, MARTINS, R. S. (2001) Gestão Logística do Transporte de Cargas. Atlas, São Paulo.,S.P.

CAPPIELLO, A. (2002). “Modeling Traffic Flow Emissions”. Massachusets Institute of Tecnology

CASCETTA, E. (2009). “Transportation System Analysis”. Second Edition. Springer Optimization and Applications.

CETESB (2008). “1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo”

CHEN X., YANG Z.-S., WANG H.-Y.: A Multi-agent Urban Traffic Control System Cooperated with Dynamic Route Guidance. Proc. of the Fifth Int. Conf. on Machine Learning and Cybernetics, IEEE, Dalian 2006.

CHOW, J. Y. J., YANG, C. H. e REGAN, A. C. (2010) “State-of-the art of freight forecast modeling: lessons learned and the road ahead”. Em: Transportation 37(6), Springer Science+Business Media, LLC, 1011–1030.

COMI *et al*, (2012). “Urban Freight Transport Demand Modelling: a State of the Art”. Em: Department of Enterprise Engineering, University of Rome, Italy.

CONAMA (2008).Lei 403, de 11 de novembro de 2008.

COPPE, (2006). “A importância da localização aeroportuária na qualidade do ar - o caso da expansão do aeroporto santos dumont na cidade do rio de janeiro”.

Código de Trânsito Brasileiro (CTB, 2008). Artigo sexto, inciso primeiro.

CONAMA (2008). Lei Nº 403 de 2008. Fase 7 do PROCONVE.

CTAFOR (2014). Controle de Tráfego em Área de Fortaleza. Registros do SCOOT referentes a 08 de Outubro de 2013.

DUTRA, Nadja Glheuca da Silva (2004) O enfoque de “city logistics” na distribuição urbana de encomendas.Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção ,Universidade Federal de Santa Catarina

GUARIEIRO, L. L. N. (2011). “Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão”. Em: Revista Virtual de Química.

HAUSBERGER, S., RODLER, J., STURM, P. and REXEIS, M. (2003) “Emission factors for heavy-duty vehicles and validation by tunnel measurements”, Atmospheric Environment.

IMMERS, L. H. (1998). “Traffic Demand Modelling”. Em: Katholieke Universiteit Leuven

KANAROGLOU, P.S., (2005). Carbon monoxide emissions from passenger vehicles: predictive mapping with an application to Hamilton, Canada. Transportation Research Part D 10, 97–109.

LIEBERMAN, E.; RATHI, A. K. Traffic Simulation. Em: GARTNER, N.; MESSER, C.M.; RATHI, A. K. (Eds.) (1997) The revised monograph on traffic flow theory. EUA: Federal Highway Administration. Cap. 10.

LOUREIRO, C.F.G. (2011) Notas de Aula disciplina Modelagem da Demanda – PETRAN.

MAIA, F. V. B. (2007) Calibração e Validação de Modelos de Meso e Microsimulação do Tráfego para a Avaliação de Intervenções Tático - Operacionais na Malha Viária Urbana. Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE.

NORTH, R.; HU S. (2012) “A Decision Support System for Reducing CO₂ and Black Carbon Emissions by Adaptive Traffic Management”. Carbotraf

OGDEN, K. W. (1992) Urban Goods Movement. Ashgate, Hants, England.

OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, C. M.; MORENO-TOST, R.; FARIAS, T. L.; JIMENEZ-LÓPEZ, A. “Modelling of NO_x emission factors from heavy and light-duty vehicles equipped with advanced after treatment system”. Elsevier

OLIVEIRA, M. P. B. “Estudo da dispersão atmosférica e agressividade do meio em Maringá- pr por meio do modelo de dispersão aermod”. Em: Universidade Estadual de Maringá.

Organização Mundial de Saúde (OMS), (2014). Em “Poluição mata mais de 7 milhões de pessoas por ano”. Itir Sonuparlak, TheCityFix.com

ORTÚZAR, J. de D. e L. G. WILLUMSEN (2011) Modelling Transport. John Wiley & Sons, Chichester, England.

PANIS *et al*, (2006). “Modelling Instantaneous Traffic Emission and the Influence of Traffic Speed Limits”.Em: Science Direct.

PORTUGAL, L. S. (2005) Simulação de tráfego: Conceitos e Técnicas de Modelagem, Editora Interciência Ltda, Rio de Janeiro.

Prefeitura Municipal de Fortaleza, Diário Oficial do Município (DOM, 2012). “Autarquia Municipal de Trânsito, serviços públicos e cidadania”.

RAKHA *et al*, (2002). “Estimating vehicle fuel consumption and emission based on instantaneous speed and acceleration levels”. Journal of Transportation Engineering.

RAKHA *et al*, (2004). “Comparison of TRANSIMS’ Light Duty Vehicle Emissions with On-Road Emission Measurements”.

ROCHA, J. F. D. (2008). “Estudo da variabilidade e eficiência de fluxos de tráfego nas principais vias estruturantes de Lisboa”. Em: Universidade Técnica de Lisboa.

RUESCH, M e GLUCKER, C. (2000) Best Urban Freight Solutions – E-Commerce and Urban Freight Distribution

SEMA, (2006). “Controle de Poluentes Atmosféricos”. Em: Monitoramento de Poluentes Atmosféricos.

SINGH *et al*, (2006). “Application of a Microscale Emission Factor Model for Particulate Matter to Calculate Vehicle-Generated Contributions to Fine Particulate Emissions”. Em: University of Waterloo, Canadá.

SWIDAN, (2011). “Integrating AIMSUN Micro Simulation Model with Portable Emissions Measurement System (PEMS): Calibration and Validation Case Study”.

TANIGUCHI, E., THOMPSON, R. G., YAMADA, T. e VAN DUIN, R. (2001) City Logistics – Network Modelling and Intelligent Transport Systems.

TANIGUCHI, E., THOMPSON, R. G., YAMADA. (2014) Recent Trends and Innovations in Modelling City Logistics, Department of Urban Management, Kyoto University

TRB (2000) Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, Washington, D.C.

TRL (2000). SCOOT 0478 - Operational Guide - SOFT. SCOOT Traffic Handbook. Transportation Research Laboratory.

Transport Simulation Systems, TSS (2012). “Aimsun User’s Manual”, November 2012.

VAN AERDE *et al* (1996). “INTEGRATION: An Overview of Traffic Simulation Features”. Queens University, Kingston, Canadá

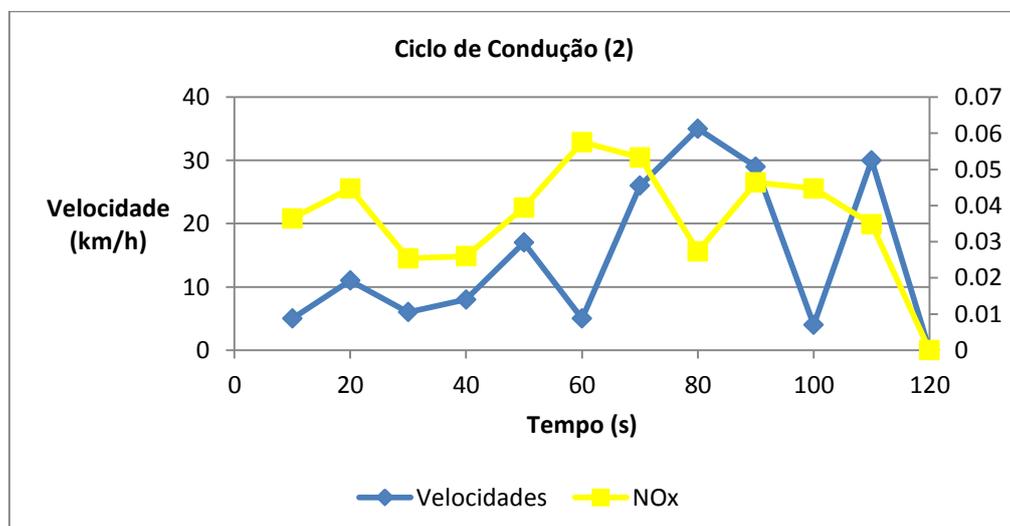
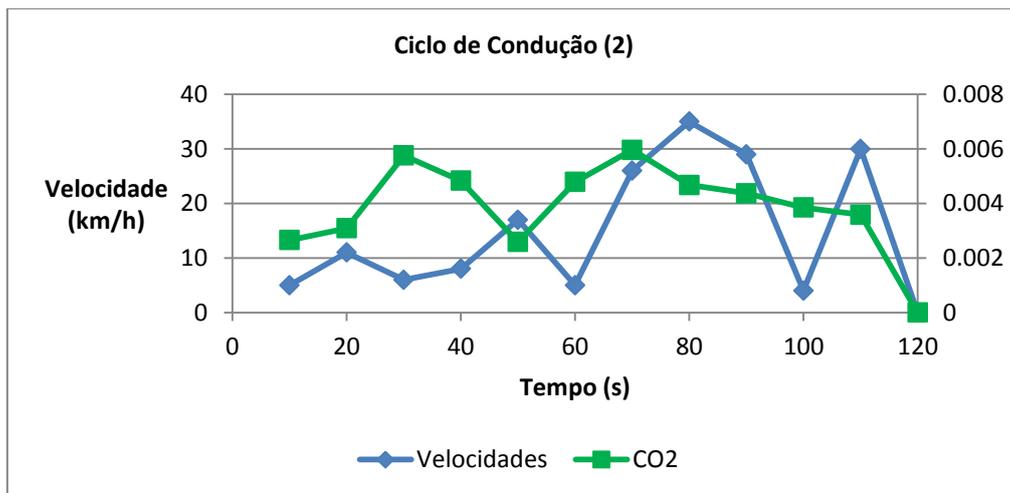
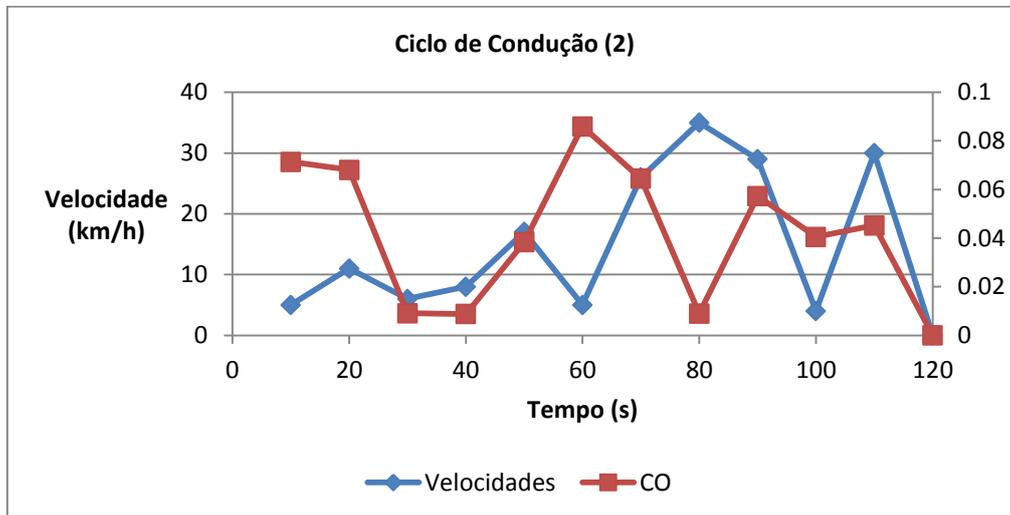
WHO– World Health Organization. “Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide”. Global update, 2005. Disponível em; <http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf>. Acesso em 11 de novembro de 2013.

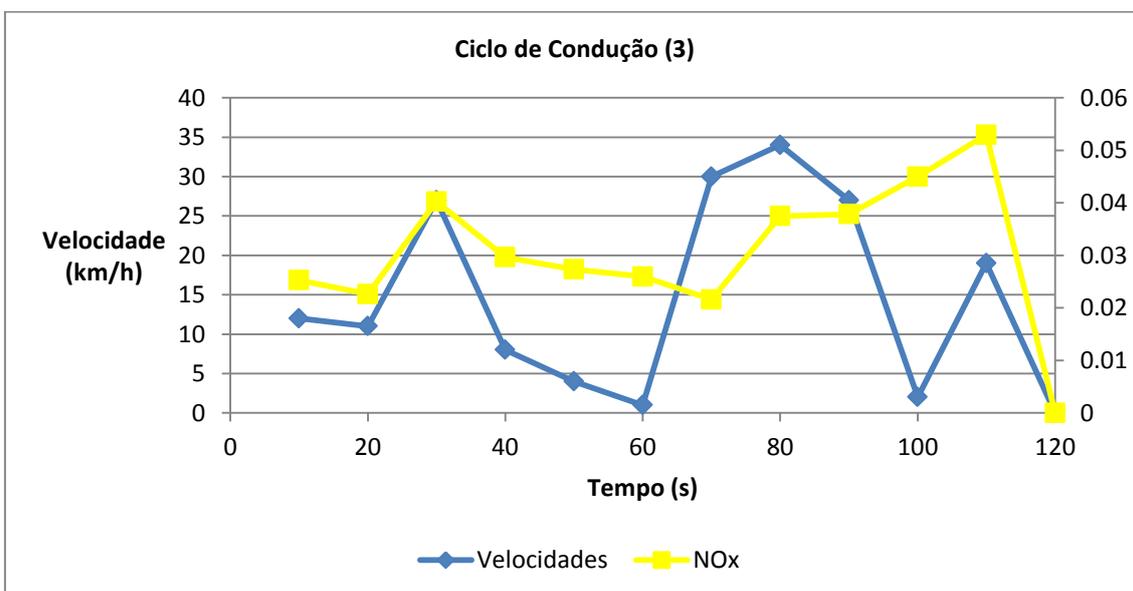
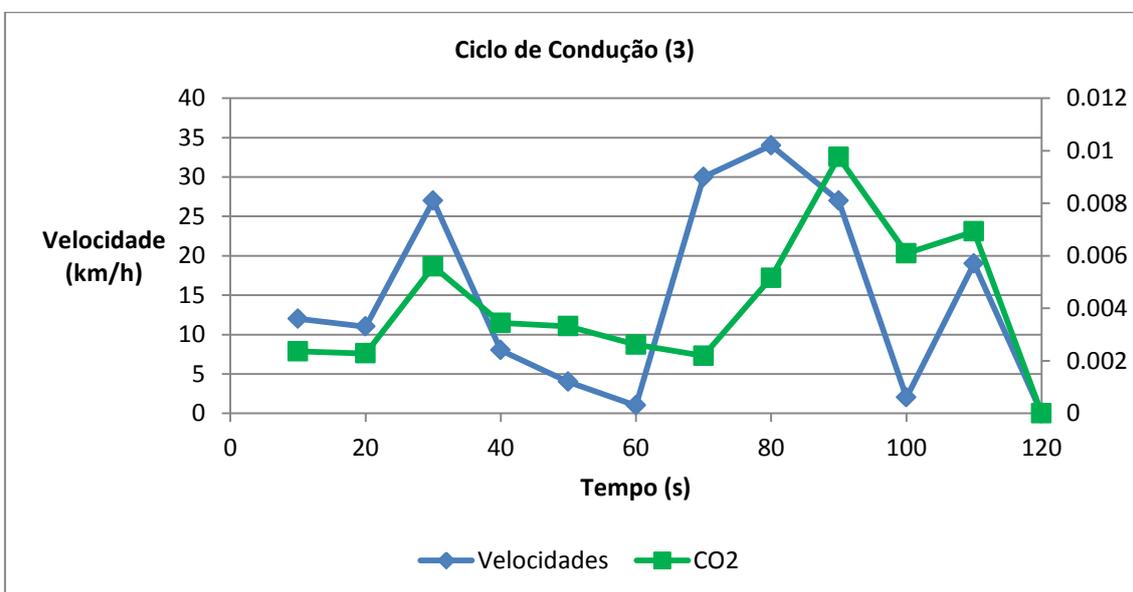
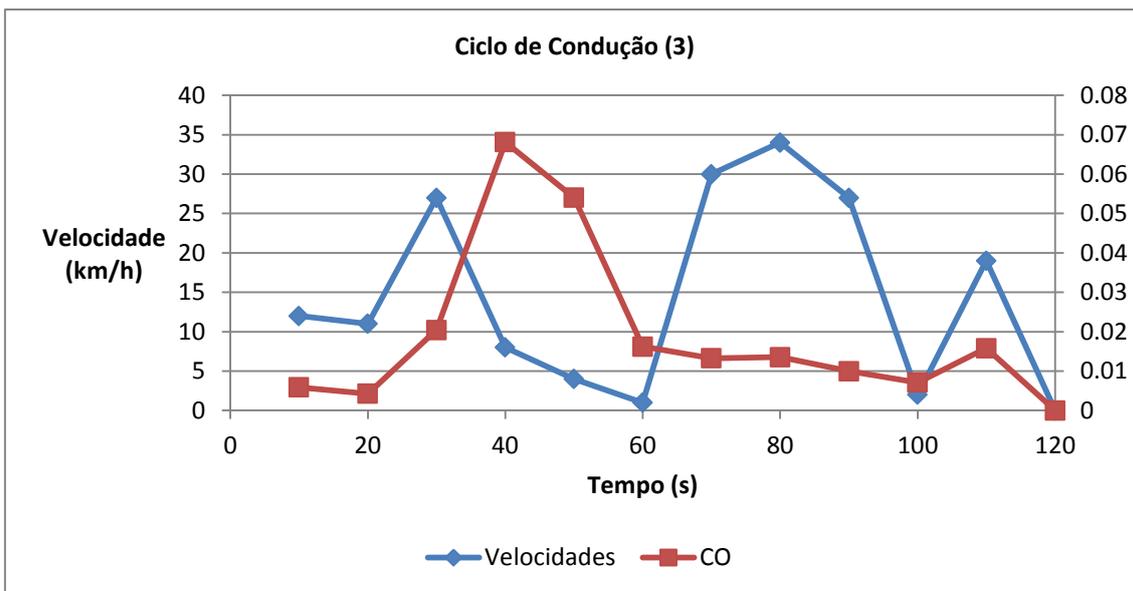
WIEGAND, J. D.; YANG, C. Y. D. “Traffic Simulation Runs: how many Needed?”. U. S. Department of Transportation

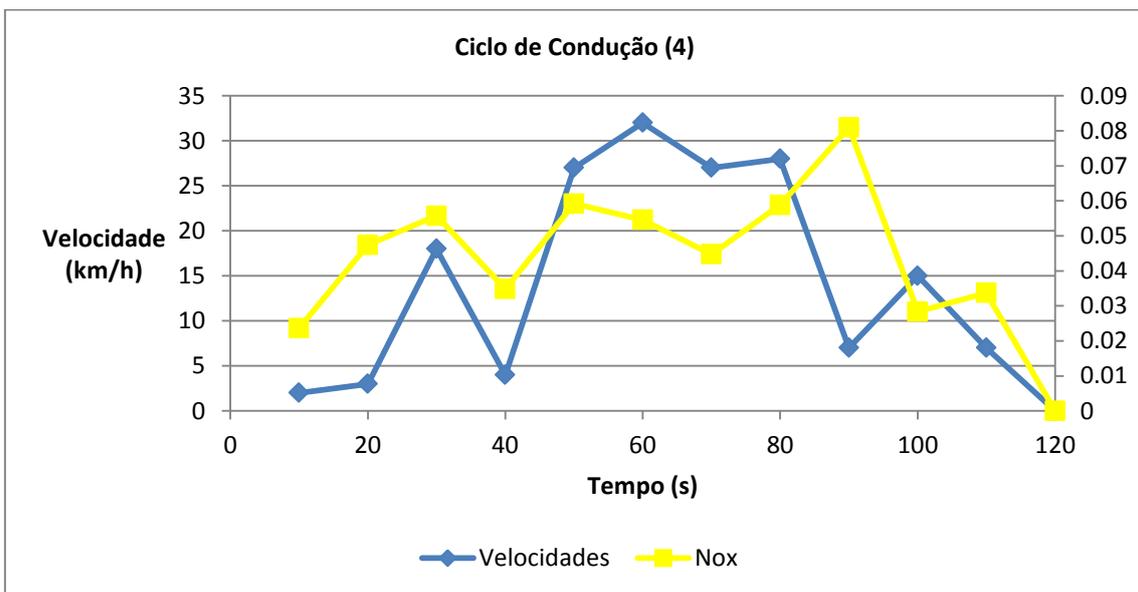
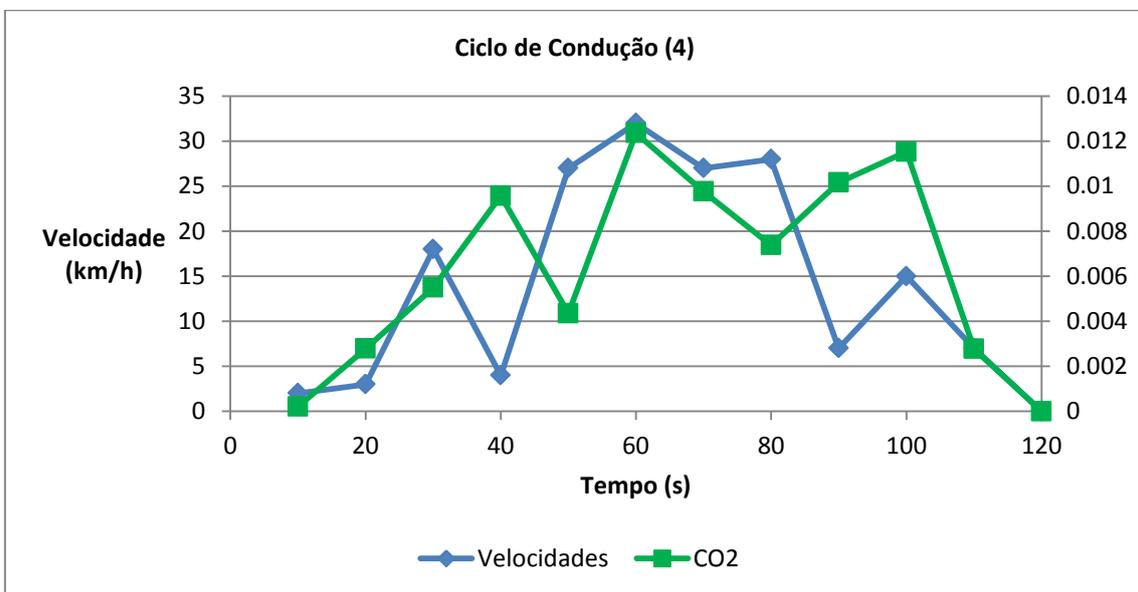
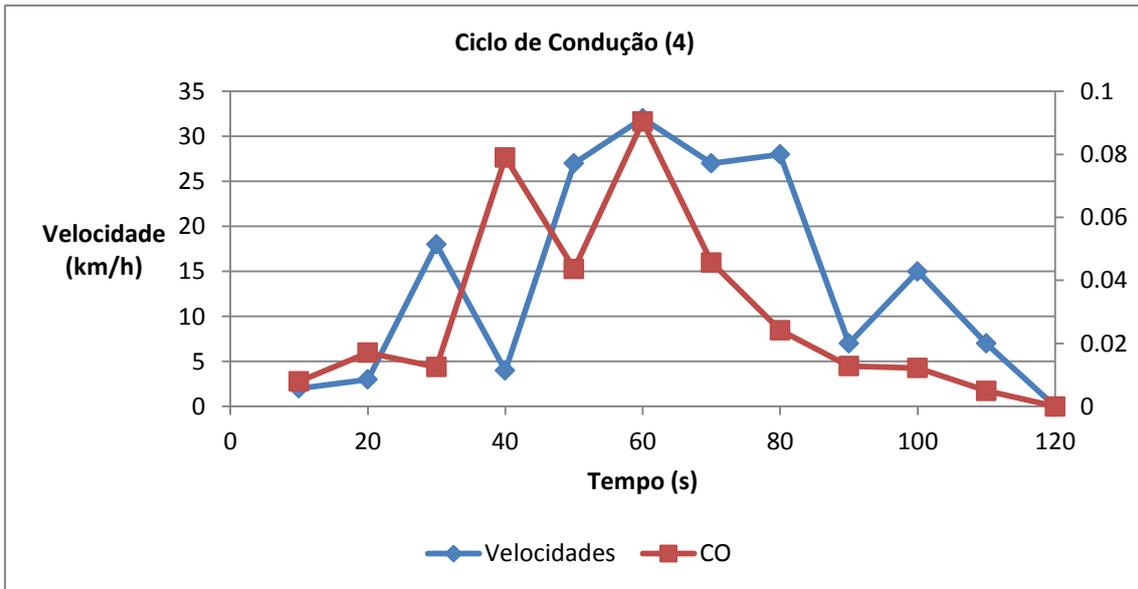
WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, (WBSCD, 2004): Mobility 2030: meeting the challenges to sustainability. – ISBN: 2-940240-57-4, Geneva, Switzerland.

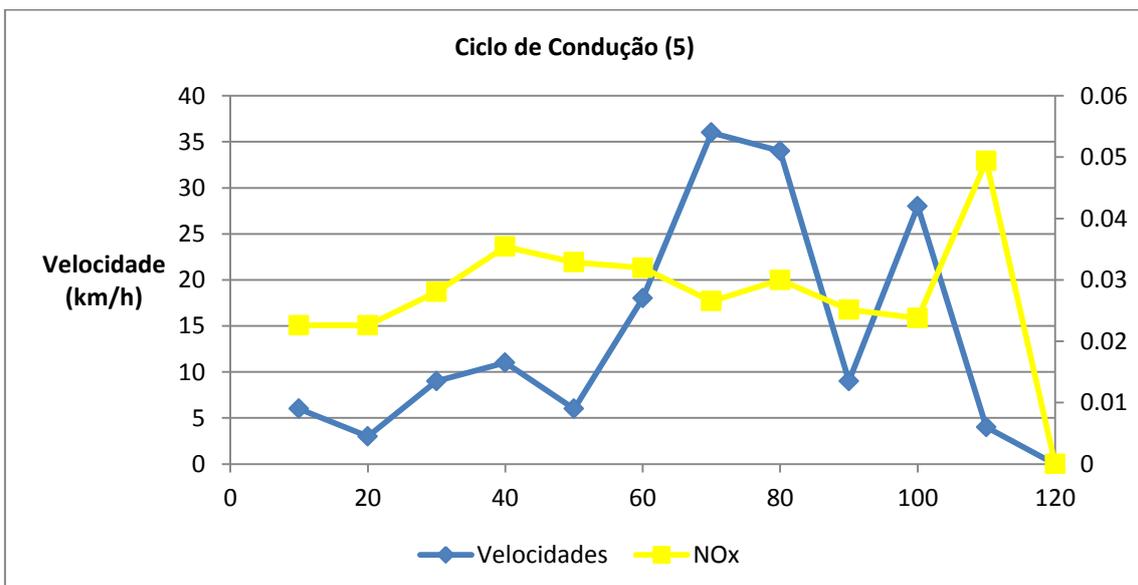
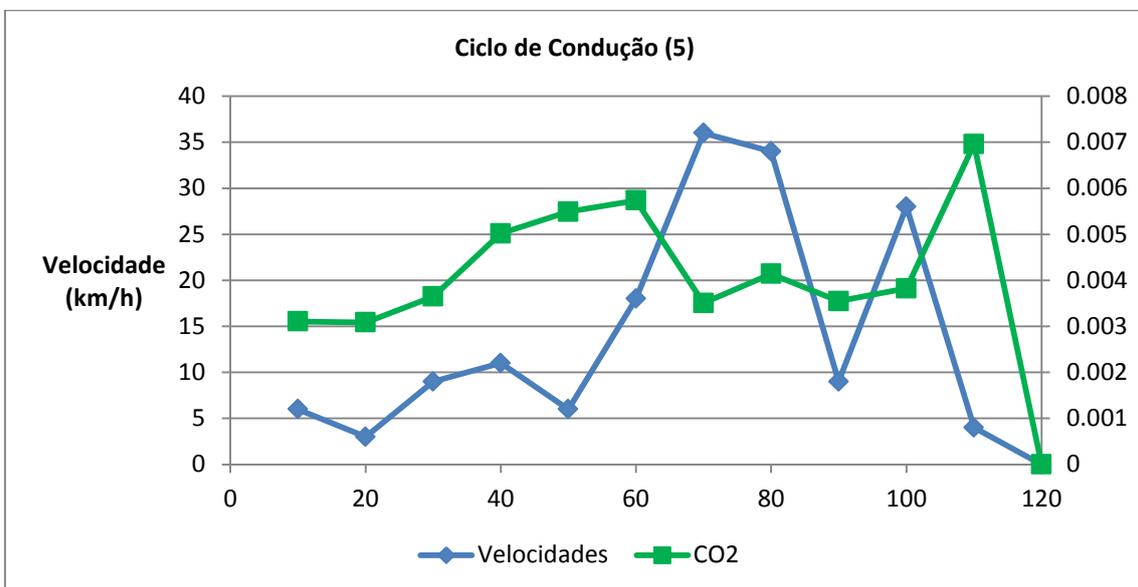
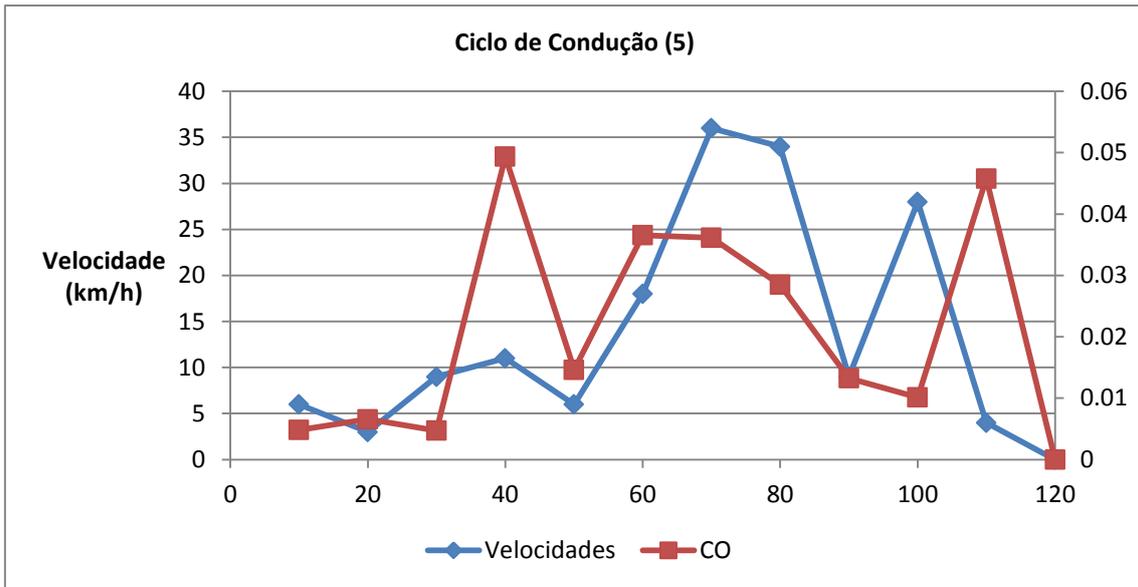
APÊNDICE A

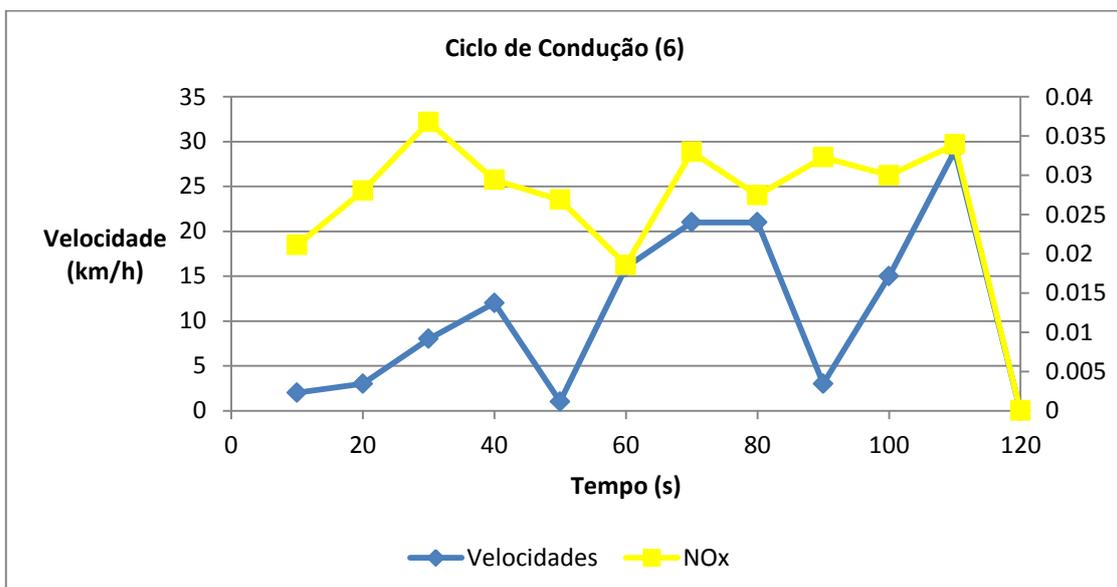
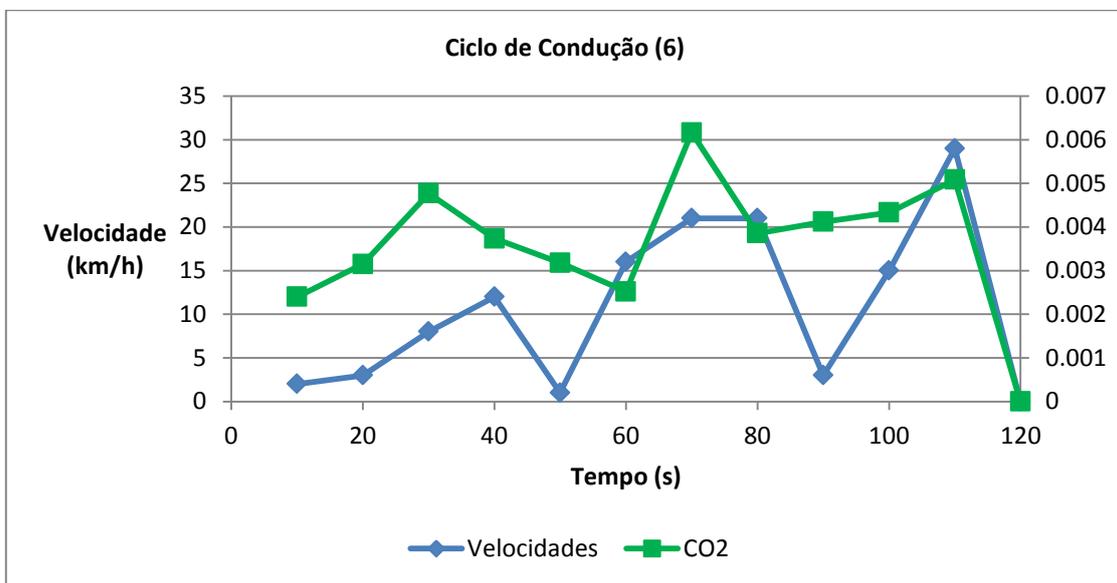
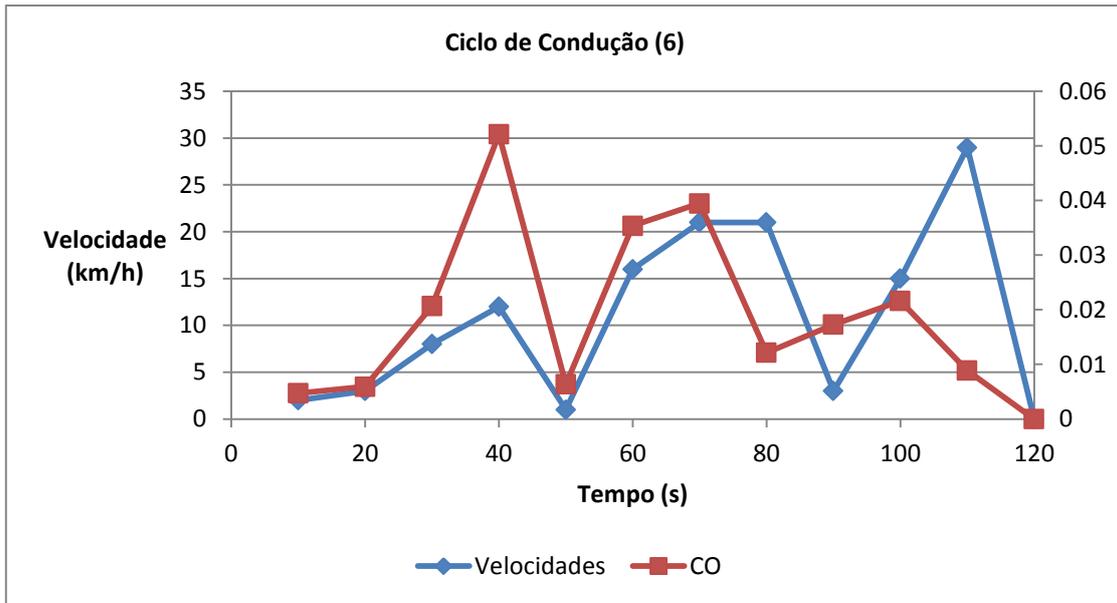
A.1 FIGURAS COM OS CICLOS DE CONDUÇÃO CONSTRUÍDOS COM AS EMISSÕES (g/km) E VELOCIDADES COLETADAS EM CAMPO.

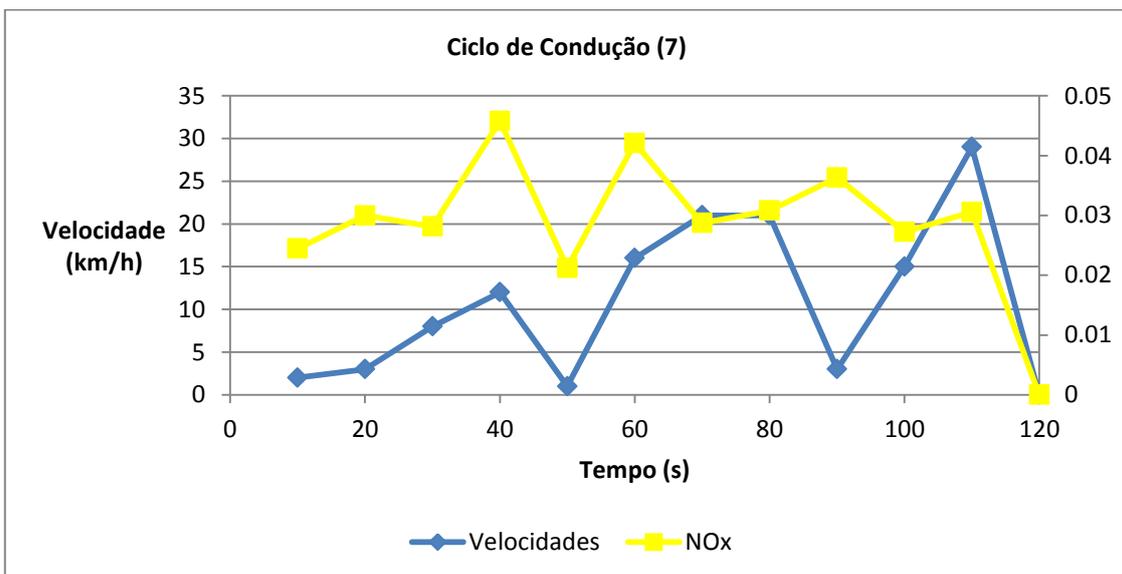
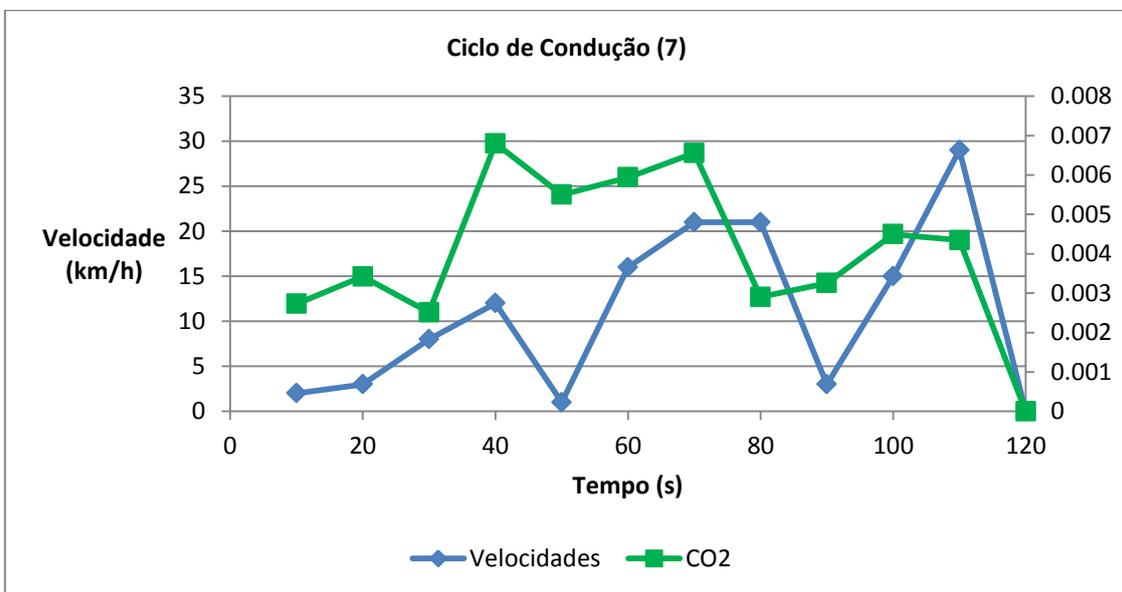
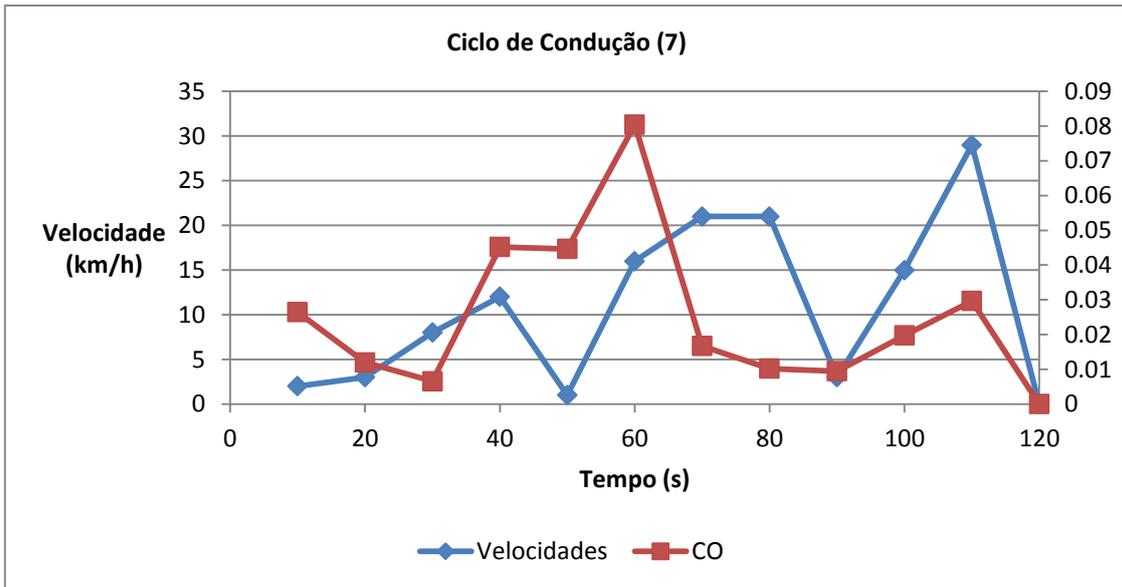












APÊNDICE B

B.1 TABELAS COM OS LEVANTAMENTOS DOS VOLUMES DE TRÁFEGO DURANTE A COLETA DE EMISSÕES EM CAMPO (VEÍCULOS/HORA)

Identificação (07:00h – 07:15h)	Volumes		
	Carro	Caminhão	Ônibus
Santos Dumont (entre Barão de Aracati e Carlos Vasconcelos)	764	4	44
Santos Dumont (entre Carlos Vasconcelos e Monsenhor Bruno)	784	4	52
Santos Dumont (entre Monsenhor Bruno e Rui Barbosa)	792	2	52
Santos Dumont (entre Rui Barbosa e José Lourenço)	823	2	52
Santos Dumont (entre José Lourenço e Barão de Studart)	889	2	52
Santos Dumont (entre Barão de Studart e Silva Paulet)	899	6	63
Carlos Vasconcelos (entre Costa Barros e Santos Dumont)	672	12	0
Carlos Vasconcelos (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	692	12	8
Monsenhor Bruno (entre Costa Barros e Santos Dumont)	192	0	0
Monsenhor Bruno (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	184	2	0
Rui Barbosa (entre Costa Barros e Santos Dumont)	1196	0	0
Rui Barbosa (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	1165	0	0
José Lourenço (entre Costa Barros e Santos Dumont)	318	0	0
José Lourenço (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	384	0	0
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Costa Barros e Santos Dumont)	380	4	36
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	442	4	36
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (entre Costa Barros e Santos Dumont)	412	4	33
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	484	8	44

Identificação (07:15h – 07:30h)	Volumes		
	Carro	Caminhão	Ônibus
Santos Dumont (entre Barão de Aracati e Carlos Vasconcelos)	668	4	28
Santos Dumont (entre Carlos Vasconcelos e Monsenhor Bruno)	736	4	28
Santos Dumont (entre Monsenhor Bruno e Rui Barbosa)	741	4	28
Santos Dumont (entre Rui Barbosa e José Lourenço)	879	4	30
Santos Dumont (entre José Lourenço e Barão de Studart)	908	4	30
Santos Dumont (entre Barão de Studart e Silva Paulet)	1116	4	34
Carlos Vasconcelos (entre Costa Barros e Santos Dumont)	716	8	0
Carlos Vasconcelos (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	784	8	0
Monsenhor Bruno (entre Costa Barros e Santos Dumont)	200	0	0
Monsenhor Bruno (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	195	0	0
Rui Barbosa (entre Costa Barros e Santos Dumont)	1368	0	8
Rui Barbosa (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	1230	0	6
José Lourenço (entre Costa Barros e Santos Dumont)	435	4	0
José Lourenço (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	464	4	0
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Costa Barros e Santos Dumont)	764	0	32
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	813	0	32
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (entre Costa Barros e Santos Dumont)	691	4	20
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	948	4	24

Identificação (07:30h – 07:45h)	Volumes		
	Carro	Caminhão	Ônibus
Santos Dumont (entre Barão de Aracati e Carlos Vasconcelos)	832	24	40
Santos Dumont (entre Carlos Vasconcelos e Monsenhor Bruno)	864	28	40
Santos Dumont (entre Monsenhor Bruno e Rui Barbosa)	844	28	40
Santos Dumont (entre Rui Barbosa e José Lourenço)	891	32	40
Santos Dumont (entre José Lourenço e Barão de Studart)	915	25	40
Santos Dumont (entre Barão de Studart e Silva Paulet)	1063	25	52
Carlos Vasconcelos (entre Costa Barros e Santos Dumont)	768	0	0
Carlos Vasconcelos (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	800	4	0
Monsenhor Bruno (entre Costa Barros e Santos Dumont)	164	0	0
Monsenhor Bruno (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	184	0	0
Rui Barbosa (entre Costa Barros e Santos Dumont)	1260	4	0
Rui Barbosa (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	1213	0	0
José Lourenço (entre Costa Barros e Santos Dumont)	416	23	0
José Lourenço (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	440	16	0
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Costa Barros e Santos Dumont)	592	8	40
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	643	8	40
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (entre Costa Barros e Santos Dumont)	577	4	32
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	776	4	44

Identificação (08:00h – 08:15h)	Volumes		
	Carro	Caminhão	Ônibus
Santos Dumont (entre Barão de Aracati e Carlos Vasconcelos)	1052	8	52
Santos Dumont (entre Carlos Vasconcelos e Monsenhor Bruno)	1184	12	52
Santos Dumont (entre Monsenhor Bruno e Rui Barbosa)	1155	10	52
Santos Dumont (entre Rui Barbosa e José Lourenço)	1263	10	52
Santos Dumont (entre José Lourenço e Barão de Studart)	1177	10	52
Santos Dumont (entre Barão de Studart e Silva Paulet)	1308	10	68
Carlos Vasconcelos (entre Costa Barros e Santos Dumont)	940	4	0
Carlos Vasconcelos (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	1072	8	0
Monsenhor Bruno (entre Costa Barros e Santos Dumont)	268	8	0
Monsenhor Bruno (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	297	10	0
Rui Barbosa (entre Costa Barros e Santos Dumont)	1300	0	0
Rui Barbosa (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	1192	0	0
José Lourenço (entre Costa Barros e Santos Dumont)	550	0	0
José Lourenço (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	464	0	0
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Costa Barros e Santos Dumont)	684	8	44
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	748	8	44
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (entre Costa Barros e Santos Dumont)	677	4	36
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	872	4	52

Identificação (08:15h – 08:30h)	Volumes		
	Carro	Caminhão	Ônibus
Santos Dumont (entre Barão de Aracati e Carlos Vasconcelos)	1056	4	60
Santos Dumont (entre Carlos Vasconcelos e Monsenhor Bruno)	1160	4	68
Santos Dumont (entre Monsenhor Bruno e Rui Barbosa)	1128	4	68
Santos Dumont (entre Rui Barbosa e José Lourenço)	1268	4	68
Santos Dumont (entre José Lourenço e Barão de Studart)	1184	4	68
Santos Dumont (entre Barão de Studart e Silva Paulet)	1320	4	84
Carlos Vasconcelos (entre Costa Barros e Santos Dumont)	876	4	0
Carlos Vasconcelos (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	980	4	8
Monsenhor Bruno (entre Costa Barros e Santos Dumont)	256	0	0
Monsenhor Bruno (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	288	0	0
Rui Barbosa (entre Costa Barros e Santos Dumont)	1284	0	0
Rui Barbosa (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	1144	0	0
José Lourenço (entre Costa Barros e Santos Dumont)	556	0	0
José Lourenço (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	472	0	0
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Costa Barros e Santos Dumont)	692	8	40
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	756	8	40
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (entre Costa Barros e Santos Dumont)	692	4	32
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	892	4	48

Identificação (08:30h – 08:45h)	Volumes		
	Carro	Caminhão	Ônibus
Santos Dumont (entre Barão de Aracati e Carlos Vasconcelos)	904	4	52
Santos Dumont (entre Carlos Vasconcelos e Monsenhor Bruno)	1024	4	52
Santos Dumont (entre Monsenhor Bruno e Rui Barbosa)	996	4	52
Santos Dumont (entre Rui Barbosa e José Lourenço)	1120	4	52
Santos Dumont (entre José Lourenço e Barão de Studart)	1044	4	52
Santos Dumont (entre Barão de Studart e Silva Paulet)	1180	4	64
Carlos Vasconcelos (entre Costa Barros e Santos Dumont)	868	0	0
Carlos Vasconcelos (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	988	0	0
Monsenhor Bruno (entre Costa Barros e Santos Dumont)	224	0	0
Monsenhor Bruno (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	252	0	0
Rui Barbosa (entre Costa Barros e Santos Dumont)	1132	0	0
Rui Barbosa (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	1008	0	0
José Lourenço (entre Costa Barros e Santos Dumont)	488	0	0
José Lourenço (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	412	0	0
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Costa Barros e Santos Dumont)	612	8	36
Barão de Studart - sentido Norte/Sul (entre Santos Dumont e Eduardo Salgado)	672	8	36
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (entre Costa Barros e Santos Dumont)	604	4	28
Barão de Studart - sentido Sul/Norte (Santos Dumont e Eduardo Salgado)	800	4	40