UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Meteorologia
Graduação em Meteorologia

Trabalho de Conclusão de Curso

Inventário de emissões veiculares para a cidade de Pelotas/RS

Karen Leandra Ávila da Silva

Pelotas, 2014

Karen Leandra Ávila da Silva

Inventário de emissões veiculares para a cidade de Pelotas/RS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr Marcelo Felix Alonso

Pelotas, 2014

Dados de catalogação na fonte:

Maria Beatriz Vaghetti Vieira – CRB-10/1032

Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

S586i Silva, Karen Leandra Ávila da

Inventário de emissões veiculares para a cidade de Pelotas/RS / Karen Leandra Ávila da Silva. – 45f. : il. – Monografia (Conclusão de curso). Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Meteorologia. Pelotas, 2014. – Orientador Marcelo Félix Alonso.

1.Meteorologia. 2. Poluição atmosférica. 3. Emissões veiculares. I.Alonso, Marcelo Félix. II.Título.

CDD: 551.5113

Karen Leandra Ávila Da silva

Titulo: Inventário de emissões veiculares para a cidade de Pelotas/RS

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 11/06/2014

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcelo Felix Alonso (orientador) - Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Prof. Dr. Anderson Spohr Nedel - Doutor em Meteorologia pela Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Ericka Voss Chagas Mariano - Doutora em Geofísica Espacial pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Dedicatória

Gostaria de dedicar este documento aos meus Pais Walter Donato Barbosa da Silva e Jane Maria de Oliveira Ávila que permaneceram sempre ao meu lado, nos bons e maus momentos; ao meu querido “Morrr” Edir Patrick Leal Goularte, que além de me fazer feliz, ajudou-me, durante todo o percurso de minha vida acadêmica, compreendendo-me e ensinando-me para que eu conquistasse um lugar ao sol; à minha maravilhosa avó Maria de Oliveira Ávila, que sempre me deu atenção, carinho e preciosos conselhos.

E por último, mas não menos importante, eu dedico à Deus e meus protetores, pois com a minha fé, eu consegui “remover montanhas”.

Muito obrigado por contribuírem para esta imensa felicidade que estou sentindo nesse momento.

Agradecimentos

Em especial, agradeço o meu professor e orientador Drº Marcelo Felix Alonso por acreditar na minha capacidade profissional.

Agradeço meus familiares que sempre acreditaram muito no meu trabalho e me ajudaram no que foi preciso.

A todos os meus professores (futuros colegas), que me ensinaram e me motivaram para que eu continuasse e chegasse até onde cheguei.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas de faculdade que de alguma maneira ajudaram para esta realização.

.

Resumo

Silva, Karen L. Á. **Inventário de emissões veiculares para a cidade de Pelotas/RS** 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

As emissões de gases traço tóxicos para a troposfera (camada mais baixa da atmosfera) e os produtos de sua oxidação representam um risco à saúde. Dentro das áreas urbanas, o foco principal são as emissões veiculares. Com relação a essa fonte de emissão, grande parte dos inventários elaborados para o Brasil refere-se à frota nacional ou à mobilidade urbana em capitais metropolitanas. No entanto, a expansão socioeconômica experimentada recentemente na região sul do Rio Grande do Sul, especificamente no eixo Rio Grande – Pelotas, por conta da expansão portuária, motivou a elaboração de um inventário de emissões veiculares para a cidade de Pelotas, para o ano de 2012. Foi realizada uma análise das emissões veiculares dos poluentes monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos não metano (NMHC), principais precursores urbanos de CO_2 e ozônio (O_3), seguindo a metodologia proposta pela Agência de Proteção Ambiental norte americana (EPA). O levantamento da frota veicular para a cidade de Pelotas foi obtido com os dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN-RS), definindo-se em cinco categorias veiculares (veículos leves, veículos comercial leves, caminhões, motocicletas e ônibus). A categorização pelo combustível consumido (gasolina, álcool, bicombustível e diesel) segue distribuição obtida pela Agência Nacional de Fabricante de Veículos Automotores (ANFAVEA) e os fatores de emissão utilizados foram corrigidos pelo fator de deterioração, conforme metodologia proposta no Inventário Nacional de emissões veiculares.
Os resultados obtidos através da elaboração do inventário mostram que os automóveis (que totalizam 59% da frota de Pelotas) foram responsáveis por aproximadamente 63% da emissão de CO e 72% da emissão de NMHC. Conforme esperado, os veículos pesados (caminhões/ônibus) foram responsáveis por 76% da emissão de NO_x no município. Estimou-se que a frota veicular pelotense emite por ano 11.497 toneladas de CO, 3.727 toneladas de NO_x e 2.280 toneladas de NMHC.

Palavra chave: emissões veiculares, poluição atmosférica

Abstract

Silva, Karen L. Á. Vehicular emissions inventory for the city of Pelotas / RS 45f. Final Project (Undergraduate) - Undergraduate Program in Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

Toxic trace gases emissions into the troposphere and its oxidation products dangerous impacts on the population health. With relation to urban areas, the dominant source is vehicular. The most of Brazilian inventories include mobile emission information from national or regional fleet. There are few local reports to the cities, but the information focusing metropolitan areas. However, the recent socioeconomic expansion of Rio Grande do Sul south area, specifically in Rio Grande and Pelotas cities, motivated the a vehicular emission inventory to Pelotas, for the base year 2012. The analysis was conducted to carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x) and hydrocarbons non - metane (HCNM), following the methodology proposed by the Environmental Protection Agency (EPA). The emission factors were obtained from CETESB inventory and were adjusted using a deterioration factor, following the methodology proposed in the Brazilian Inventory of vehicular emissions. The vehicle fleet was obtained from National Traffic Department (DENATRAN-RS). Five categories were defined (light vehicles, light commercial vehicles, trucks, buses and motorcycle). The fuel consumed (gasoline, alcohol, diesel and flex-fuel) follows the distribution obtained by the National Motor Vehicle Manufacturer organization (ANFAVEA). This work presents the preliminary results of the inventory, showed that the automobiles (totaling 59% of Pelotas's fleet) accounted for approximately 63% of CO and 72% HCNM emissions in Pelotas. As expected, heavy vehicles (trucks / buses) accounted for 76% of NO_x emissions in the Pelotas. The vehicular fleet emits, per year, 11.497 tons of CO and 3.727 tons of NO_x and 2.280 tons of HCNM.
Keyword: vehicular emissions, air pollution.

Lista de figuras

Figura 1	Emissões relativas de poluentes por tipo de fonte, para a Região Metropolitana de São Paulo no ano de 2005.	11
Figura 2	Mapa da cidade de Pelotas - RS	25
Figura 3	Diagrama esquemático com as etapas da metodologia proposta	27
Figura 4	Percentual da distribuição dos veículos por idade no período de <2001 até 2012	33
Figura 5	Percentual de emissões de CO para a cidade de Pelotas RS	38
Figura 6	Percentual de emissões de NO_x para a cidade de Pelotas RS	39
Figura 7	Percentual de emissões de NMHC para a cidade de Pelotas RS	39

Lista de tabelas

Tabela 1	Emissão total de cada inventário descrito na revisão de literatura	24
Tabela 2	Categorização da frota em Pelotas	28
Tabela 3	Metodologia de cálculo do FD proposta pela EPA	29
Tabela 4	Fatores de emissão de motores para veículos pesados do ciclo diesel	30
Tabela 5	Distribuição da frota por categoria	32
Tabela 6	Distribuição da frota por categoria e combustível	33
Tabela 7	Fator de Emissão	34
Tabela 8	Fatores de emissão médios	35
Tabela 9	Fatores de emissão para veículos comerciais leves	35
Tabela 10	Fator de emissão para veiculo Pesados	36
Tabela 11	Fator de emissão para motocicletas	36
Tabela 12	Intensidade de Uso	37
Tabela 13	Total de emissões de CO e NO_x para cidade de Pelotas	38
Tabela 14	Comparação ente os níveis de poluição	40

Lista de abreviaturas e siglas

ABRACICLO	Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores - Brasil
CO	Monóxido de Carbono
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DETRAN- RS	Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul
EPA	Agencia de Proteção Ambiental Norte - Americana
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MP	Material Particulado
NMHC	Hidrocarbonetos não-metano
$NMHC_{escap.}$	Hidrocarbonetos não-metano por escapamento
$NMHC_{evap.}$	Hidrocarbonetos não-metano evaporativo
NO_x	Óxidos de nitrogênio
O_3	Ozônio
PROCONVE	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores

Sumário

Introdução....13
Revisão de Literatura....16
2.1 Poluição do Ar....16
2.2 Poluentes Atmosféricos....16
2.2.1 Programa de Controle do Ar por Veículos Automotores....20
2.3 Inventários de Emissões....21
2.4 Município de Pelotas....24
Metodologia....26
3.1 Dados da Frota....27
3.1.1 Automóveis....28
3.1.2 Veiculo comerciais leves....29
3.1.3 Caminhões e ônibus....30
3.1.4 Motocicletas....31
Resultados Parciais....32
4.1 Frota Veicular....32
4.2 Fatores de Emissão....33
4.2.1 Veículos leves do ciclo Otto....33
4.2.2 Comerciais leves a diesel....35
4.2.3 Veículos pesados....35
4.2.4 Motocicletas....36
4.3 Intensidade de Uso....36
4.4 Emissões....37
Conclusões....41
Referências....43

Introdução

O crescimento populacional nas grandes e médias cidades do Brasil ocorreu na década de 70 com o crescimento industrial e econômico associado à falta de infraestrutura e planejamento urbano, acarretando em grandes problemas a saúde humana e ao meio ambiente. As emissões de gases traço tóxicos para a troposfera e os produtos de sua oxidação representam um risco direto a saúde. A produção de níveis elevados de ozônio (O_3) próximo à superfície é de particular preocupação. Altas concentrações de ozônio são relacionadas com doenças em grupos de risco (SALDIVA et al., 1994, 1995).

A poluição do ar vem sendo considerada pela maioria dos países como o principal agente de degradação ambiental do planeta (FEEMA, 2007), por isso que hoje em dia, ter conhecimento da qualidade do ar de uma região é extremamente importante para a gestão ambiental de uma cidade. As interações que envolvem as emissões de poluentes atmosféricas por fontes fixas (indústrias, queima de lixo, fornos, caldeiras etc) ou móveis (veículos automotores etc), as condições meteorológicas e as características geográficas da região em estudo, determinam a concentração de poluentes atmosféricos.

Adicionalmente à previsão do tempo e clima, o uso da modelagem numérica para o diagnóstico e prognóstico da qualidade do ar nas grandes cidades vem ganhando espaço na produção científica atual no mundo todo, principalmente com relação ao ozônio troposférico e seus efeitos nocivos nos seres vivos (ALONSO, 2011).

A modelagem numérica é uma importante ferramenta para o monitoramento global, regional e local da composição química na atmosfera. Atualmente existem vários modelos numéricos que são utilizados para a previsão do tempo químico em escala global e regional.

Particularmente na América do Sul, cita-se o modelo CCATT-BRAMS (*Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developmentson the Regional Atmospheric Modeling System* - LONGO et al. 2009, FREITAS et al., 2009, LONGO et al,. 2011), desenvolvido no Brasil e mantido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), operacional no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC – INPE) desde 2003 (http://meioambiente.cptec.inpe.br). É um modelo de transporte químico atmosférico 3D *on-line*, capaz de simular as emissões, transporte, processos de remoção de gases traços e aerossóis e a reatividade química na atmosfera. Essa ferramenta também vem sendo aplicada operacionalmente no Rio Grande do Sul (http://ccatt.ufpel.edu.br) ainda em fase de teste.

Para representatividade dos processos químicos na atmosfera em modelos regionais depende de vários fatores, sendo o nível de detalhamento e distribuição das emissões o mais importante. Obtêm-se essa informação através dos inventários de emissões, importantes ferramentas usadas em tomadas de decisão por partes dos agentes públicos/privados responsáveis.

O desenvolvimento de um inventário de emissões exige um conhecimento mais detalhado das fontes emissoras. Existem duas abordagens mais utilizadas para o levantamento desses dados que são: “de cima pra baixo” (do inglês *Top-Down*) e a “de baixo pra cima” (do inglês *Bottom-Up*) (EPA; 1999). A primeira considera a estimativa de emissões baseadas em informações nacionais ou regionais e a segunda considera estimativas de fontes locais, mas a obtenção desses dados não é trivial devido à escassez de informações disponíveis em bancos de dados locais, principalmente os sócio-econômicos.

Com respeito às emissões veiculares fontes de importantes precursores do ozônio nas cidades, o Brasil carece de inventários em grande parte das capitais e demais centros urbanos de representatividade econômica. Em outras palavras o país possui poucos estudos quando comparados ao número de médias e grandes cidades existentes. Atualmente podemos citar alguns estados brasileiros que possuem inventário de emissões veiculares, que são: São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul.

No caso do Rio Grande do Sul, existem alguns inventários de emissões atmosféricas de fontes móveis para a região metropolitana de Porto Alegre (FEPAM,

2010; TEIXEIRA et al., 2008). No entanto, não se tem conhecimento de um inventário veicular para a cidade de Pelotas (região sul do RS) e região, que economicamente é significativa para o estado e está em pleno desenvolvimento. A expansão socioeconômica da região sul do estado, mais especificamente no eixo Rio Grande – Pelotas, associada com o aumento da frota veicular e episódios de poluição, motivou a elaboração de um inventário de emissões veiculares para a cidade de Pelotas RS.

Portanto, pretende-se elaborar um inventário de emissões veiculares para Pelotas, com o intuito de colaborar com o diagnóstico e prognóstico da qualidade do ar no estado do Rio Grande do Sul e contribuir para a geração de um documento diagnóstico básico para tomadas de decisões no município. Especificamente, objetiva-se categorizar a frota veicular em Pelotas e região quanto a sua evolução, sua comparação com a frota estadual, o comportamento quanto aos hábitos dos motoristas e a relação dessas características com a qualidade do ar.

Revisão de Literatura

2.1 Poluição do Ar

De acordo com Lei n°6.938, de 31 de agosto de 1981, no art.3°da legislação brasileira, define-se poluição como "a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

a) prejudiquem a saúde, a segurança, e o bem-estar da população;

b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;

c) afetem desfavoravelmente a biota;

d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente

e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Dentre os tipos de poluição, a atmosférica destaca-se por causar danos à saúde humana e ao meio ambiente em ambas as escalas locais e intercontinentais. Alguns exemplos dos efeitos da poluição atmosférica na escala global são gerados por erupções vulcânicas, incêndios Florestais e alteração do bioma; na escala regional tem-se os danos causados por queima de plantações (como exemplo a cana de açúcar) e a queima de combustíveis fósseis. Por último, a poluição na escala local é gerada através da queima de resíduos urbanos, poluição industrial e emissões veiculares.

As fontes principais de poluição atmosférica urbana podem ser divididas em duas categorias: estacionárias e móveis. As fontes estacionárias estão associadas com:

A) Utilização de combustíveis fósseis [monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (NMHC), óxidos de nitrogênio (NO_X), dióxido e trióxido de enxofre (SO_2 e SO_3) e material particulado (MP)].

B) Processos industriais [dióxido e trióxido de enxofre óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, material particulado, ácido clorídrico (NMHC), mercaptans, háfnio e sulfeto de hidrogênio (H_2S)].

C) Combustão dos resíduos sólidos (material particulado, dióxido e trióxido de enxofre, ácido clorídrico e óxidos de nitrogênio).

Por sua vez, as fontes móveis dividem-se em: veículos automotores (material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e aldeídos) e aviões e barcos (óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio).

Esses poluentes citados no texto acima podem ser classificados como poluentes primários que são emitidos diretamente na atmosfera e poluentes secundários é formado através da reação entre as substâncias presente na atmosfera

ALONSO (2011) ressalta que a contribuição relativa de cada fonte para a emissão de um determinado poluente primário, dentro de um ambiente urbano, envolve um complexo levantamento de diversos fatores. A estimativa de fontes móveis, por exemplo, necessita do levantamento do tipo e a idade da frota, o comportamento do tráfego e o perfil das vias de uma determinada região.

Segundo Jacobson (1999) a poluição antrópica urbana (poluição produzida pela atividade humana) pode ser classificada em dois exemplos básicos:

a) "*smog*[1] fotoquímico": que ocorre quando a intensidade da luz solar e as emissões por combustão de material fóssil são altas e

b) "*smog* tipo Londres"[2]: que ocorre quando as emissões de enxofre pelo processo industrial são altas, o ambiente recebe menor intensidade de luz solar, e a umidade relativa é alta.

A Fig. 1 apresenta os principais poluentes emitidos na maior cidade do Brasil, São Paulo.

[1] O termo *smog* é um acrônimo que deriva do termo *smoke* (fumaça em inglês) e *fog* (nevoeiro em inglês).

[2] O termo *smog tipo Londres* é uma referência ao episódio ocorrido em Londres no ano de1952, considerado um dos piores impactos ambientais vitimando cerca de 12.000 londrinos (DAIVI et al., 2002).

Como se pode observar as emissões dos poluentes primários (como exemplo HC) provém das fontes móveis, já para o poluente SO_x (que representa um maior percentual de emissão em SP), provém dos processo industriais (fontes fixas).

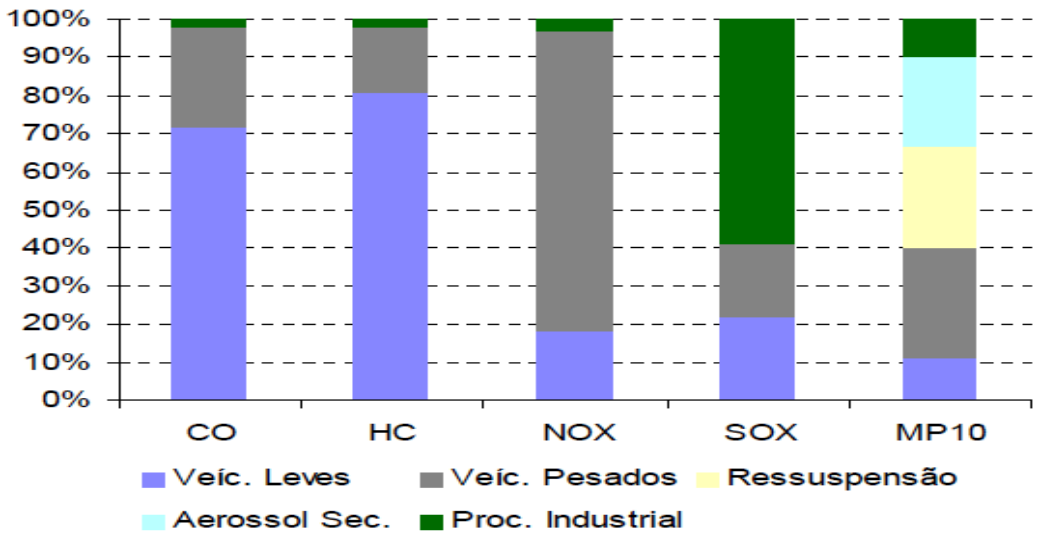

Figura 1 - Emissões relativas de poluentes por tipo de fonte, para a Região Metropolitana de São Paulo no ano de 2005.

Fonte: CETESB (2006)

2.2 Poluentes Atmosféricos

Material Particulado (MP): é uma mistura complexa de sólidos com diâmetro reduzido, este poluente é constituído de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera. Em geral o material particulado varia o tamanho de acordo com o diâmetro das partículas e pode ser classificado em: Partículas Inaláveis (MP_{10}), Partículas Inaláveis Finas ($MP_{2,5}$) Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Fumaça (FMC).

- Fontes: as fontes principais de material particulado são a queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa vegetal, emissões de amônia na agricultura e emissões decorrentes de obras e pavimentação de vias.
- Efeitos: estudos indicam que os efeitos do material particulado sobre a saúde incluem: câncer respiratório, arteriosclerose, inflamação de pulmão,

agravamento de sintomas de asma, aumento de internações hospitalares e podem levar à morte.

Hidrocarbonetos (HC): São compostos formados por carbono e hidrogênio podendo se apresentar na forma de gotas, partículas finas ou gasosas. Podem ser classificados como [THC - hidrocarbonetos totais, CH_4 - hidrocarboneto simples, conhecido como metano e NMHC - hidrocarbonetos não metano, compreendem os NMHC totais (THC) menos a parcela de metano (CH_4)].

- Fontes – são provenientes dos processos naturais e industriais. Na área urbana, as principais fontes emissoras são os veículos automotores (carros, ônibus e caminhões), através dos processos de queima e evaporação do combustível.
- Efeitos: um precursor na formação do ozônio troposférico.

Monóxido de Carbono (CO): é um gás inodoro e incolor, formado no processo de queima de combustíveis.

- Fontes: A emissão deste gás acontece através dos processos de combustão que ocorrem em condições não ideais, ou seja, não há oxigênio suficiente para realizar a combustão completa do combustível. Em áreas urbanas, o principal contribuinte para as emissões deste poluente, são os veículos automotores
- Efeitos: este gás tem um efeito letal quando inalado devido a sua alta afinidade com a hemoglobina no sangue, diminuindo a capacidade e a alimentação do oxigênio ao cérebro, coração e outras partes do corpo, durante o processo de respiração. Em baixa concentração pode causar dor de cabeça, dor no peito, tonturas e redução de reflexos, em alta concentração pode levar a casos extremos como asfixia e morte.

Óxidos de nitrogênio (NO_x): resultam da combinação do oxigênio e nitrogênio presentes no ar admitido pelo motor em condições de altas temperaturas e pressões.

- Efeitos: os NO_x podem provocar irritação e constrição das vias respiratórias, diminuindo a resistência orgânica e podendo ao desenvolvimento do enfisema pulmonar

Ozônio (O_3): é classificado como um poluente secundário, porque não emitido diretamente, é formado fotoquimicamente pela radiação solar e outros poluentes atmosféricos.

O ozônio é encontrado naturalmente na estratosfera (camada situada entre 15 e 50 km de altitude), onde tem a função positiva de absorver radiação solar, impedindo que grande parte dos raios ultravioletas chegue à superfície terrestre (MMA, 2014).

- Fontes: a formação do O_3 ocorre através das reações químicas que acontecem entre o dióxido de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis juntamente com a radiação solar. Estes poluentes são emitidos através da criação de animais, na agricultura, a queima de combustíveis fósseis e volatilização de combustíveis.
- Efeitos: Entre seus efeitos gerais sobre a saúde estão à deficiência respiratória, sintomas de asma, doenças pulmonares e cardiovasculares.

2.2.1 Programa de Controle do Ar por Veículos Automotores

O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) existe desde 1986, estabelecido e regulamentado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e atuante pela Lei número 8.723/93.

O programa estabelece as normas, prazos e padrões legais de emissão aceitável para as diferentes categorias de veículos automotores (nacionais e importados) e tem como intuito reduzir a poluição do ar provocada por fontes móveis no Brasil. A sua estratégia consiste em:

- Diminuir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores, principalmente nos grandes centros urbanos, visando atender os Padrões da Qualidade do Ar.
- Promover o desenvolvimento tecnológico nacional no ramo automobilístico, como também aplicar métodos de ensaios e medições de emissão dos poluentes.

- Criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores
- Melhorar as características técnicas dos combustíveis, com o intuito de reduzir o nível de poluição lançado na atmosfera.

2.3 Inventários de Emissões

O inventário de fontes de emissão de poluição atmosférica constitui um dos instrumentos de planejamento dos mais úteis para um órgão ambiental, uma vez que define qualitativa e quantitativamente as atividades poluidoras do ar e fornece informações sobre as características das fontes, definindo localização, magnitude, freqüência, duração e contribuição relativa das emissões. (FEEMA, 2007). Para a elaboração de um inventario, podemos utilizar as principais abordagens para a obtenção dos dados que são:

A metodologia *Top-Down:* considera a estimativa de emissões baseadas em informações nacionais ou regionais, cuja função ou relação com o propósito de cálculo seja conhecida. Esta abordagem é adotada quando não há disponibilidade dos dados locais. A vantagem desse método é a facilidade de se obter as informações dos dados. Por outro lado, pode-se caracterizar uma desvantagem em termos de exatidão nos resultados gerados. No Brasil podemos citar como exemplo de aplicação dessa metodologia o Inventário Brasileiro de Emissões antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCT, 2003).

A metodologia *Bottom-Up* é muito utilizada para a estimativa de emissões de fontes pontuais e fontes área. Esta abordagem requer maiores recursos para a coleta de informações locais e, naturalmente, resulta em estimativas mais representativas e acuradas das fontes (ALONSO, 2011). Um exemplo de aplicação dessa metodologia é o primeiro inventário de emissões atmosféricas das fontes móveis do RS (FEPAM, 2010).

A elaboração de inventários de emissões locais é de suma importância no entendimento da qualidade do ar experimentada nas cidades e fundamental para a modelagem numérica de dispersão e química dos poluentes. A agregação dos inventários veiculares para o melhoramento das resoluções espaciais e temporais nos modelos é tendência recente. Como exemplo cita-se o trabalho realizado por Alonso (2011) que utilizou a agregação dos inventários municipais disponíveis, para

estudar o impacto regional das emissões urbanas na qualidade do ar e a previsão do tempo químico sobre a América do sul.

Detalha-se na seqüência as peculiaridades de alguns inventários elaborados no Brasil, pois cada instituição de um modo ou de outro, contribuiu individualmente com suas informações sobre as emissões provenientes das fontes móveis em seus respectivos inventários locais:

Estado de São Paulo: O monitoramento da qualidade do ar no estado é realizado pela Companhia ambiental do estado de São Paulo (CETESB- http://www.cetesb.sp.gov.br/). De acordo com o último relatório de emissões veiculares publicado no ano de 2011, “A frota circulante no Estado era de aproximadamente 13,6 milhões de veículos, sendo 9 milhões de automóveis, 1,6 milhões de comerciais leves, 500 mil ônibus e caminhões e 2,5 milhões de motocicletas”. A idade média da frota circulante é de oito anos, mas cerca de 4,3 milhões de veículos acima de 10 anos ainda estão em circulação no Estado.

As fontes de emissões analisadas foram monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO_2), hidrocarbonetos totais (NMHC), metano (CH_4), e material particulado (MP). A metodologia utilizada neste relatório é a mesma adotada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Estado do Espírito Santo: O Instituto Estadual do Meio Ambiente e recursos Hídricos (IEMA - http://www.meioambiente.es.gov.br/) desenvolveu o inventário de emissões atmosféricas da Região da Grande Vitoria (RGV), que abrangem os municípios de Cariacica, Serra, Vitória, Viana e Vila Velha. Nesse inventário, foi realizado um levantamento das fontes fixas, móveis, locais, remotas, naturais e antropogênicas.

Em relação às fontes móveis, a representação das emissões veiculares foi dividida em duas etapas, a primeira etapa foi classificada em vias primárias (vias de maior fluxo de trânsito) e a segunda etapa em vias secundárias (vias com menor fluxo de trânsito). Para o monitoramento das emissões, foram considerados os seguintes poluentes: material particulado total (MP), material particulado menor que 10 µm (MP10), material particulado menor que 2,5 µm ($MP_{2,5}$), dióxido de enxofre

(SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COV). A metodologia utilizada segue os padrões da EPA.

Estado do Rio de Janeiro: *a* Fundação Estadual de Engenharia do meio Ambiente (FEEMA - http://www.inea.rj.gov.br/fma/a-feema.asp?cat=5) é responsável pelo monitoramento da qualidade do ar e inventaria as emissões das fontes fixas e móveis no estado do RJ. No relatório da qualidade do ar em 2007, foram considerados somente os poluentes regulamentados, onde inclui os MP_{10}, SO_2, NO_x, CO, NMHC.

Estado do Rio Grande do Sul: a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM - http://www.fepam.rs.gov.br/) desenvolveu o primeiro inventário de emissões atmosféricas das fontes móveis no ano de 2009. Este inventário priorizou as zonas de situação ambiental crítica dividindo o estado em macrorregiões, a Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA) e as áreas formadoras da bacia hidrográfica do Guaíba.

Foram estudadas as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) aldeídos (R-CHO), dióxido de carbono (CO_2). A metodologia utilizada segue os padrões usados pela EPA e os dados coletados são do tipo "*Bottom-Up*".

Região metropolitana de Porto Alegre: Teixeira et al. (2008) realizou um estudo das emissões de fontes móveis para a Região Metropolitana de Porto Alegre,região localizada no sul do Brasil. Nesse inventário foram considerados veículos fabricados antes de 1980 até o ano de 2004, os poluentes analisados foram CO, SO_X, NO_X, MP,R-CHO e NMHC e a metodologia adotada, segue os padrões utilizados pela EPA.

Cidade de Maringá: Lima et al (2009) estimou as emissões originadas de veículos leves, os poluentes analisados foram NMHC, CO, NO_x e R-CHO. O artigo considerou veículos circulantes pós 1980 até o ano de 2005 e utilizou a mesma metodologia adotada pela CETESB.

A tab.1 mostra o exemplo das emissões total de CO, NOx e NMHC para algumas cidades inventariadas no Brasil.

Tabela 1 - Emissão total de cada inventário.

Inventários	CO(t)	NO_X (t)	NMHC (t)	MP(t)
Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM)	430.830	64.380	33.630	2.400
Região Metropolitana de São Paulo (CETESB)	168.194	109.772	33.576	2.638
Região Metropolitana da Grande Vitória (IEMA)	139.783	14.567	-	9.176
Região Metropolitana do Rio de Janeiro (FEEMA)	314.700	60.200	53.400	7.800
Região Metropolitana de Porto Alegre (Teixeira et. al, 2008)	195.740	34.110	23.450	2.350
Município de Maringá (Lima et al, 2009)*	11.494	876	1.188	-

*Somente contabiliza veículos leves

2.4 Município de Pelotas.

A cidade de Pelotas (- 31° 46' 19'', - 52° 20' 33'' e 7m) está localizada na encosta sudeste, a 250 km da capital do estado do Rio Grande do Sul, ocupa uma área de 1.610.084 km², território que se divide em sete bairros e nove distritos com uma população de 328.275 habitantes (IBGE, 2013), representando a terceira cidade mais populosa do estado (Fig. 2).

O município é referência no ensino superior, possui os principais pólos universitários do estado. Além disso, tem um forte centro comercial, vive da agroindústria, turismo e está interligado a três grandes rodovias (BR 116, BR 392 e RS 471), que proporciona um intenso tráfego de pessoas e veículos para a cidade e seu contorno.

Figura 2 – Mapa da cidade de Pelotas - RS.

Fonte: Google maps

Metodologia

Para a realização deste inventário utilizou-se a metodologia *bottom-up*. A análise das emissões dos poluentes hidrocarbonetos não-metano (NMHC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) seguiu metodologia proposta pela Cetesb, baseada na Agência de Proteção Ambiental Norte-americana (EPA). Essa metodologia consiste no levantamento das emissões (E) por tipo de combustível (c), por espécie de poluente (p), para um determinado ano de estudo (t), considerando o número de veículos da frota circulante ($NV_{i,t}$), a distância média anual percorrida ($DM_{i,t}$) por esta frota e os fatores de emissão médios corrigidos de cada poluente ($FEC_{i,p,c}$), que são desagregados por ano de fabricação do veiculo (i),como mostra a equação 1

$$E_t = \Sigma(NV_{i,t}.DM_{i,t}.Fec_{i,p,c})_{c,p} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde

E= emissões
NV= número de veículos
DM= distância média anual
Fec= Fator de emissões corrigidas

Os fatores de emissão utilizados foram baseados nos dados para fatores médios de emissões para veículos novos (CETESB, 2009), corrigidos por fatores de deterioração, conforme proposto pela EPA (MCT, 2002). As etapas da metodologia são mostradas na Fig. 3.

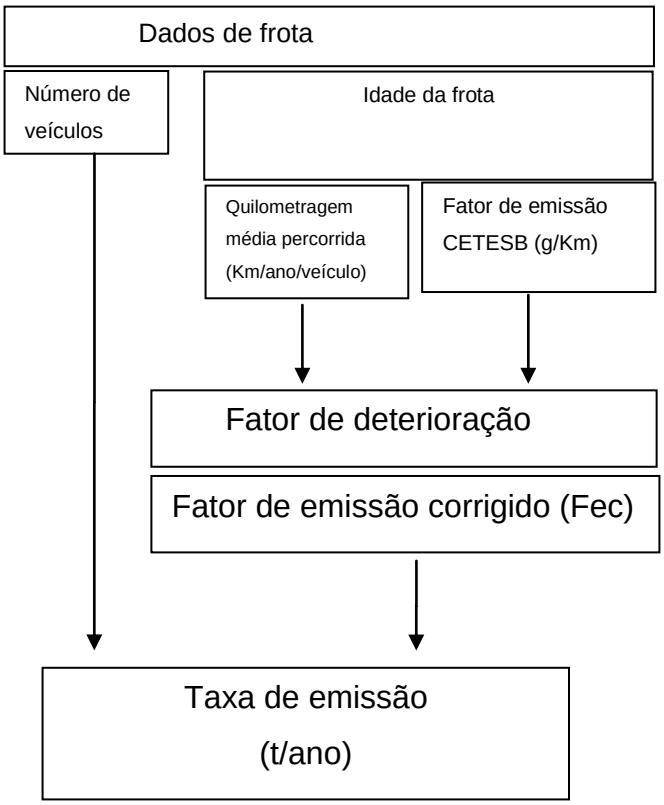

Figura 3 – Diagrama esquemático com as etapas da metodologia proposta.

3.1 Dados da Frota

Para este trabalho foram definidas cinco categorias veiculares: **veículos leves** (automóveis); **veículos comercias leves** (microônibus, camionetes e camionetas), **motocicletas**, **caminhões** (caminhões, caminhões trator e trator rodas) e **ônibus** (ônibus). A categorização seguiu os inventários regionais e nacionais já existentes, com algumas modificações inerentes à particularidade da cidade de Pelotas (tab. 2).

O levantamento da frota veicular na cidade de Pelotas segue os dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN - http://www.denatran.gov.br/). Como a base de dados municipal não possui informação sobre a idade da frota, assumiremos que esse parâmetro segue a distribuição levantada para o estado do Rio Grande do Sul. Quanto à categorização pelo combustível consumido,

assumimos a distribuição obtida pela Agência Nacional de Fabricante de Veículos Automotores (ANFAVEA - http://www.anfavea.com.br/) para a frota nacional.

Tabela 2 - Categorização da frota em Pelotas.

Categoria	Motor/Combustível	Definição
Veículos Leves	Otto/Gasolina C Otto/Etanol Hidratado Otto/Flex Fuel	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, inclusive o condutor
Veículos comerciais leves	Otto/Gasolina C Otto/Etanol Hidratado Otto/Flex Fuel Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou carga, com peso bruto de até 3.500kg
Motocicletas	Otto/Gasolina C Otto/Flex Fuel	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car, dirigido em posição montada
Caminhões	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria, e PBT superior a 3.500 kg
Ônibus	Diesel	Veículo automotor de transporte coletivo

*PBT - peso bruto total

3.1.1 Automóveis

Foram considerados veículos licenciados movidos a gasolina, álcool e flex(álcool e gasolina). Os fatores de emissão foram corrigidos para cada poluente utilizando a equação (2).

$$Fec=FD.FE \qquad \text{Equação 2}$$

Onde

FEC= fator de emissão corrigido

FD= Fator de deterioração

FE= Fator de Emissão

Para obter FD, adotou-se a metodologia proposta pela EPA, utilizadas em muitos inventários brasileiros (LIMA et al., 2009; UEDA 2008). O equacionamento utilizado para o cálculo do FD em automóveis com ano de fabricação após 1977 é apresentado na tab. 3.

Tabela 3 – Metodologia de cálculo do FD proposta pela EPA.

Ano de Fabricação	NMHC	CO	NO_x
Após 1977	$FDHC = \frac{4{,}43 + 0{,}25y}{4{,}43}$	$FDCO = \frac{56{,}34 + 2{,}55y}{56{,}34}$	1

Sendo FD_{CO} o fator de deterioração para monóxido de carbono e FD_{NMHC} fator de deterioração para hidrocarboneto e Y se obtém através da equação

$$Y = \begin{cases} \frac{\text{KMacum}}{1{,}61\ (10.000)}, & \text{se Km} < 100.000 \\ 6{,}21 \quad , & \text{se Km} > 100.000 \end{cases} \qquad \text{Equação 3}$$

O parâmetro Y representa a razão entre a quilometragem acumulada e dez mil milhas. A EPA assume que o valor de Y é constante após 100.000 km (MCT, 2002).

A quilometragem média foi obtida através de amostragem ou de desagregação do inventário estadual (FEPAM, 2010). Em última instância, foram adotados os valores de referência da distância média anual percorrida estimados pela Cetesb em seus inventários. Essa metodologia foi estudada para cada categoria.

Os fatores de emissão para NMHC foram baseados em dois processos distintos: escapamento ($NMHC_{escap}$), que contempla a emissão devido a combustão incompleta e o processo evaporativo ($NMHC_{evap}$) que contempla a emissão oriunda da evaporação do cárter.

3.1.2 Veículos comerciais leves

Foram considerados veículos comerciais leves: microônibus, camionetes e camionetas, categorizados por tipo de combustível (gasolina, álcool, diesel e flex).Os fatores de emissão utilizados nessa categoria, ciclo Otto[3], foram os mesmos dos veículos leves e para os veículos movidos a Diesel foram considerados os fatores de emissão iguais aos veículos pesados (CETESB, 2009).

O cálculo dos fatores de deterioração para NMHC e CO segue a metodologia proposta para os automóveis.

3.1.3 Caminhões e ônibus

Considerou-se que todos os veículos desta categoria são movidos a diesel. Os fatores de emissão foram obtidos nos relatórios da qualidade do ar para o período de 2001 até 2011 (CETESB, 2009), obedecendo inclusive às denominações do Programa de Controle Veicular (PROCONVE) vigentes (tab. 4).

Tabela 4 – Fatores de emissão de motores para veículos pesados do ciclo diesel[1]

FASE PROCONVE	CO (g/k Wh)	NMHC (g/k Wh)	NOx (g/k Wh)	MP (g/k Wh)
P1	(2)	(2)	(2)	(2)
P2	1,86	0,68	10,70	0, 660
P3	1,62	0,54	6,55	0, 318
P4	0,85	0,29	6,16	0, 120
P5	0,86	0,16	4,67	0, 078
P6	nd	nd	nd	nd

1 - Médias cumulativas para cada fase do PROCONVE, obtidas a partir das homologações e da produção acumulada em cada fase, segundo as Resoluções CONAMA n.º 08/93 e 315/02. Em vigor estão as fases P5 (por força do acordo judicial com o Ministério Público Federal, até 2011) e P6, embora todos os motores homologados em 2009 atenderam ainda a Fase P5 e nenhum a Fase P6.

2 - Na Fase P1, nenhum destes poluentes era controlado, apenas a emissão de fumaça em regime de carga.

nd - não disponível.

Fonte: CETESB (2009)

O cálculo dos fatores de deterioração para NMHC e CO seguiu a mesma metodologia proposta para os automóveis.

[3] Nikolaus Augusto Otto, engenheiro alemão em 1976 inventou o motor de ciclo Otto. Basicamente, o motor é composto de um cilindro, contendo um êmbolo móvel (pistão) e diversas peças móveis, são muito utilizados em veículos leves movidos a gasolina, álcool e gás natural veicular (FEPAM, 2010).

3.1.4 Motocicletas

Esta categoria engloba as motocicletas e as motonetas. Para estimar os fatores de emissões consideramos que as motocicletas são menores ou iguais a 150 cilindradas e todas de fabricação nacional. O cálculo dos fatores de deterioração para NMHC e CO seguiu a mesma metodologia proposta para os automóveis.

Resultados

Para a elaboração deste inventário, foram calculadas as emissões para o monóxido de carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x) e Hidrocarbonetos não-metano (NMHC), por se tratarem de poluentes significativos em área urbana.

4.1 Frota Veicular

A distribuição da frota na cidade de Pelotas é de 161.562 veículos, de acordo com a definição das categorias. A frota veicular é dividida em, aproximadamente, 59% automóveis, 8,3% comerciais leves, 4,5% caminhões, 28% motocicletas e 1% ônibus conforme mostra a (tab. 5).

Tabela 5- Distribuição da frota por categoria

Ano	Leves	C. Leves	Caminhões	Motocicletas	Ônibus	Total
2012	95.372	13.346	7.322	44.433	1.089	161.562
%	59,031	8,261	4,539	27,502	0,674	100

Fonte: DENATRAN- RS (2012)

Definiu-se a distribuição dos veículos por combustível utilizando-se os dados nacionais da ANFAVEA. Os resultados da distribuição do total de veículos por categoria e por combustível são apresentados na tab. 6. Do total de veículos da frota, 72% é a gasolina, 2% a álcool, 8% a diesel e 18% bicombustíveis (total flex).

Tabela 6- Distribuição da frota por categoria e combustível.

	Gasolina	Álcool	Diesel	Total Flex	Total
Motocicletas	44.433(100%)	-	-	-	44.433
Automóveis	65.321(68%)	2.922(3%)	1.076(1%)	26.053(27%)	95.372
C. Leves	65.321(47%)	2.922(3%)	3.300(25%)	3.379(25%)	13.346
Caminhões	-	-	9.971(100%)	-	9.971
Ônibus	-	-	1.089(100%)		1.089

Com relação à distribuição dos veículos por idade Fig. 4, nota-se que a frota veicular gaúcha é relativamente antiga, isto é, cerca de 50% dos veículos fabricados antes de 2001(veículos com mais de 10 anos) ainda estão em circulação. A tendência da frota por idade em Pelotas segue o padrão estadual apresentando ligeira diferença no perfil mais novo (veículos fabricados entre 2009 e 2012.

Figura 4 - Percentual da distribuição dos veículos por idade no período de <2001 até 2012 Pelotas (azul) e Rio Grande do Sul (vermelho).

Fonte: DENATRAN (2012)

4.2 Fatores de Emissão

4.2.1 Veículos leves do ciclo Otto

Os fatores de emissões médios utilizados neste inventário para as categorias de veículo leves e comerciais leves do ciclo Otto, estão disponíveis nos relatórios da qualidade do ar da CETESB. De acordo com a metodologia, os fatores de emissão foram corrigidos para cada poluente (tab. 2) e adaptados para a realidade de Pelotas conforme mostra a tab. 7.

Tabela 7 – Fatores de emissões médios (g/km)

Ano	Combustível	CO	NO_x	$NMHC_{escap}$	$NMHC_{evap}$
2001	Gasolina	1,062	0,206	0,138	0,05875
	Etanol	1,156	0,124	0,167	0,11
2002	Gasolina	0,966	0,181	0,134	0,0525
	Etanol	1,196	0,121	0,170	0,10875
2003	Gasolina	0,888	0,176	0,130	0,05875
	Etanol	1,186	0,127	0,166	0,121
	Flex Gasol.	0,988	0,096	0,085	0,05875
	Flex Etanol	0,926	0,177	0,159	-
2004	Gasolina	0,788	0,140	0,126	0,05875
	Etanol	1,193	0,113	0,170	0,121
	Flex Gasol.	0,828	0,100	0,103	0,05875
	Flex Etanol	0,833	0,173	0,148	-
2005	Gasolina	0,726	0,134	0,113	0,05875
	Etanol	1,149	0,109	0,165	0,121
	Flex Gasol.	0,836	0,094	0,121	0,05875
	Flex Etanol	0,719	0,129	0,143	-
2006/2007	Gasolina	0,662	0,118	0,089	0,05875
	Etanol	0,953	0,075	0,118	0,121
	Flex Gasol.	0,812	0,088	0,104	0,05875
	Flex Etanol	0,753	0,095	0,111	-
2008	Gasolina	0,646	0,071	0,066	0,05625
	Etanol	0,905	0,071	0.113	0,035
	Flex Gasol.	0,786	0,073	0,093	0,05625
	Flex Etanol	0,945	0,069	0,077	-
2009-2012	Gasolina	0,518	0,045	0,053	0,05625
	Flex Gasol.	0,548	0,055	0,051	0,035
	Flex Etanol	0,746	0,049	-	-

Fonte: CETESB (2009)

Como os dados do DENATRAN contabilizam os veículos anteriores a 2001 em uma única categoria, foi realizado um levantamento dos veículos em circulação entre o período de 1957 a 2001, baseado nos dados nacionais da ANFAVEA. Assim

foi possível calcular fatores de emissão médios característicos à frota nesse período. Os resultados finais obtidos são mostrados na tab.8.

Tabela 8 – Fatores de emissão médios (g/km)

Ano <2001	**Combustível**	**CO**	**NO_x**	**$NMHC_{escap}$**	**$NMHC_{evap}$**
Leves	Gasolina	9,952	0,728	0,809	1,030
	Etanol	13,238	1,103	1,177	1,164
Comercial Leves	Gasolina	8,364	0,682	0,691	0,875
	Etanol	12,39	1,179	1,148	1,108

4.2.2 Comerciais leves a diesel

A tab.9 apresenta os fatores de emissões de CO e NO_x correspondentes as fases da PROCONVE, para veículos comerciais leves com ciclo a diesel.A partir desses valores, aplica-se o cálculo das emissões conforme apresentado na equação 2, onde os valores obtidos são expressos em g/Km.

Tabela 9 – Fatores de emissão para veículos comerciais leves

Ano	Fases	CO	NO_x
1990 - 1993	Pré-Proconve, P1 e P2	0,77	4,45
1994 - 1997	P3	0,69	2,81
1998 - 2002	P4	0,38	2,74
2003- 2008	P5	0,35	1,98

Fonte: CETESB (2009)

4.2.3 Veículos pesados

A tab. 10 apresenta os fatores de emissões de CO e NO_x para caminhão e ônibus movidos a diesel de acordo com as fases do PROCONVE. Observe que para adequar a realidade da frota para veículos pesados em Pelotas, consideramos somente as categorias para ônibus urbanos e caminhões médios, os valores foram utilizados na equação 2, dados em g/kWh.

Tabela 10: Fatores de emissão para veículos pesados

Fases Proconve	CO		NO_x		NMHC	
	Ônibus Urbano	Caminhões Médios	Ônibus Urbano	Caminhões Médios	Ônibus Urbano	Caminhões Médios
Pré Proconve P1 e P2	3,06	1,26	17,57	7,28	1,12	0,46
P3	2,75	1,14	11,1	4,6	1,12	0,38
P4	1,5	0,62	10,84	4,49	0,51	0,21
P5	1,39	0,58	7,84	0,25	0,27	0,11

Fonte: CETESB (2009)

4.2.4 Motocicleta

Os fatores de emissões das motocicletas foram obtidos através dos anuários da Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO) onde são apresentadas na tab. 11 em g/km.

Tabela 11 – Fator de emissão para motocicletas

Ano	CO	NO_x	NMHC
<2002	19,7	0,1	2,21
2003	6,36	0,18	0,71
2004	6,05	0,18	0,66
2005	3,12	0,16	0,49
2006	2,21	0,17	0,27
2007	1,83	0,16	0,3
2008	1,12	0,09	0,18
2009 - 2012	1,02	0,1	0,14

Fonte: ABRACICLO (2012)

4.3 Intensidade de Uso

Devido à escassez das informações referentes à intensidade de uso da frota de veículos na cidade de Pelotas, utilizamos as informações disponíveis no primeiro relatório da CETESB (2008), baseada no primeiro inventario nacional de emissões por veículos automotores. Como não há informação de quantos caminhões leves, médios e pesados estão em circulação nas vias públicas de Pelotas, a intensidade

de uso para esta categoria, foi estimado através do cálculo da média simples conforme apresentado na tab. 12.

Tabela 12 – Intensidade de uso (Km/ ano)

Ano de Uso	Automóvel e comercial ciclo Otto	Comerciais a diesel	Motocicletas	Ônibus Urbanos	Caminhões (média)
0	10.000	10.000	6.000	45.000	36.922
1	19.400	19.600	11.600	88.200	72.366
2	18.800	19.200	11.200	86.400	70.889
3	18.200	18.800	10.800	84.600	69.412
4	17.600	18.400	10.400	82.800	67.936
5	17.000	18.000	10.000	81.000	66.459
6	16.400	17.600	9.600	79.200	64.982
7	15.800	17.200	9.200	77.400	63.505
8	15.200	16.800	8.800	75.600	62.028
9	14.600	16.400	8.400	73.800	60.551
10	14.000	16.000	8.000	72.000	59.074
11	13.400	15.600	7.600	70.200	57.598

Fonte: CETESB (2009)

4.4 Emissões

As emissões para CO, NO_x e NMHC foram estimadas de acordo com a metodologia proposta pela CETESB, baseada na EPA. Para cada categoria utilizou-se os fatores de emissões e intensidade de uso que melhor se ajustassem a realidade de frota veicular em Pelotas. O ano base é 2012 e os cálculos das emissões estão representados em toneladas/ ano.

Os resultados mostraram que a frota veicular emite aproximadamente 11.947 toneladas de CO e 3.727 toneladas de NO_x. Com relação aos hidrocarbonetos não metanos, estimou-se 1.447 toneladas por emissão dos escapamentos e 833 toneladas de emissão evaporativa, totalizando 2.280 toneladas (tab.13).

Observando a Fig.5, podemos notar que os automóveis (que totalizam 59% da frota) foram responsáveis por aproximadamente 63% da emissão de CO no município, as motocicletas (que representam 27% da frota) também apresentaram

emissões consideráveis (28% da emissão total de CO) por possuir altos fatores de emissão para essa espécie.

Para o poluente NO_x, os resultados apontaram que os caminhões emitem 57% e os ônibus 19%, totalizando em 76% da emissão de NOx na cidade de Pelotas por veículos pesados Fig.6. Já para o poluente NMHC, os veículos leves foram responsáveis por 72% da emissão total, sendo 35% por combustão incompleta do escapamento ($NMHC_{escap}$) e 37% por emissão evaporativa ($NMHC_{evap}$). Salienta-se que as motocicletas foram responsáveis por 18% da emissão total dessa espécie (Fig.7).

Tabela 13–Total de emissões de CO, NO_x e NMHC para cidade de Pelotas.

Emissões (t)	Automóveis	Comerciais Leves	Caminhão	Motocicleta	Ônibus	Total
CO	7.517	619	340	3.360	112	11.947
NO_x	608	170	2.129	94	726	3.727
$NMHC_{escap}$	798	107	88	421		1.447
$NMHC_{evap.}$	771	62	-	-	-	883

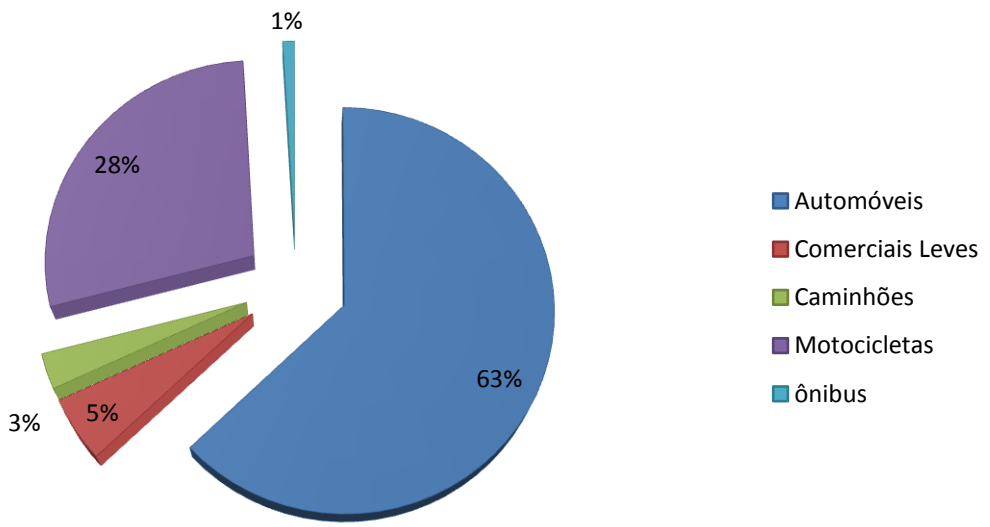

Figura 5 – Percentual de emissão de CO para a cidade de Pelotas RS

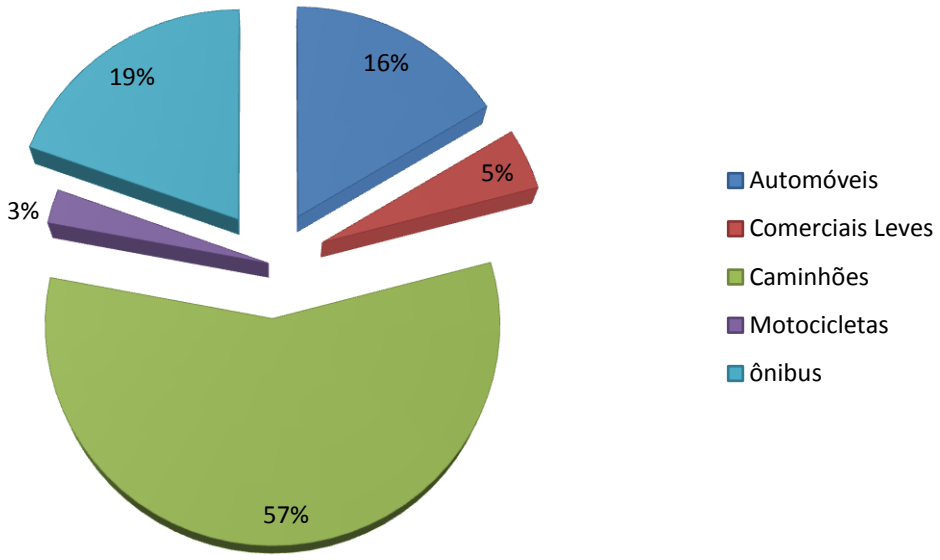

Figura 6 – Percentual de emissão de NO_x para a cidade de Pelotas RS

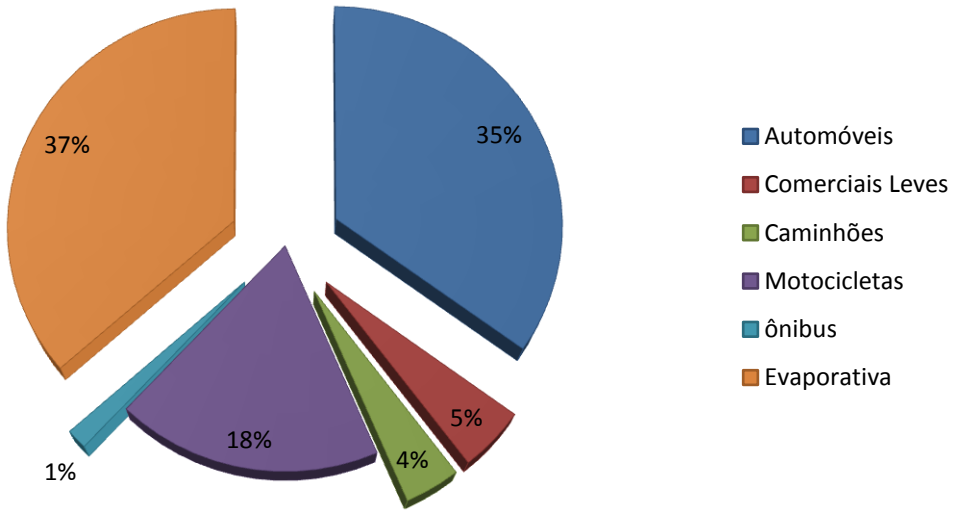

Figura 7 – Percentual de emissão de NMHC para a cidade de Pelotas RS

A tab. 14 apresenta a emissão total dos inventários comentados na revisão de literatura, comparados com o resultado estimado para o município de Pelotas nesse trabalho. Conforme esperado, o nível de poluição atmosférica é mais elevado nas grandes capitais.

Em comparação com a frota de veículos automotores para a cidade de Maringá, que possui frota similar a Pelotas em quantidade, os valores de emissão para o poluente CO foram similares (lembrando que para Maringá o autor considerou somente veículos leves), assim, podemos levar em consideração que os níveis de poluição para CO esta dentro do esperado para cidades desse porte.

Tabela 14 – Comparação ente os níveis de poluição.

Inventários	CO(t)	NO_x (t)	NMHC (t)	MP(t)
Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM)	430.830	64.380	33.630	2.400
Região Metropolitana de São Paulo (CETESB)	168.194	109.772	33.576	2.638
Região Metropolitana da Grande Vitória (IEMA)	139.783	14.567	-	9.176
Região Metropolitana do Rio de Janeiro (FEEMA)	314.700	60.200	53.400	7.800
Região Metropolitana de Porto Alegre (Teixeira et. al, 2008)	195.740	34.110	23.450	2.350
Município de Maringá (Lima et al, 2009)*	11.494	876	1.188	-
Município de Pelotas	11.947	3.727	2.280	-

Conclusões

A partir do levantamento dos dados, foi possível coletar as informações necessárias para a realização do inventário de emissões veiculares para a cidade de Pelotas. Os resultados obtidos neste inventário nos permitem ter uma visão geral das emissões atmosféricas causadas por fontes móveis na cidade. Estimou-se que o total das emissões veiculares para cada poluente foi de 11.947 toneladas para CO, 3.727 toneladas para NO_x e 2.280 toneladas para NMHC.

Os veículos da categoria leve movidos a gasolina são os maiores contribuintes para a emissão de CO no município. Este poluente quando lançado na atmosfera pode atuar com o radical hidroxila (OH) para a formação do dióxido de carbono (CO_2) e em altas concentrações próximas a superfície afeta a saúde humana.

Outro destaque é o impacto dos veículos pesados movidos a diesel, mais especificamente o caminhão, que é o maior emissor de NO_x na cidade. Este poluente é precursor do ozônio em áreas urbanas, juntamente com os hidrocarbonetos não-metano e seu excesso próximo a superfície causa danos diretos a saúde humana.

No entanto, por falta de dados locais mais precisos, alguns parâmetros como intensidade de uso e consumo de combustível foram desagregados de informações estaduais e nacionais, sem incluir a devida especificidade do município. Essa aproximação é válida, no entanto sugere-se o investimento no levantamento, correção e adequação desses parâmetros aos padrões locais de consumo. Também sugere-se estender o estudo para material particulado.

É importante salientar que o uso dos dados de frota veicular licenciada no município não é a aproximação ideal para se capturar os veículos circulantes no ano base. No entanto os órgãos responsáveis carecem de informações de contagem de veículos.

Esse trabalho mostra o quão importante é controlar a qualidade do ar na cidade de Pelotas, através dos programas de inspeção e manutenção de veículos antigos, além de se investir no melhoramento de veículos novos e transportes públicos, pois o aumento da frota veicular na cidade traz preocupações na mobilidade urbana e na área da saúde, já que a poluição gerada por essas fontes está diretamente ligada a doenças.

Referências

ALONSO, M. **Previsão de tempo químico para a América do Sul: impacto das emissões urbanas nas escalas local e regional.** 2011. 218f. Tese (doutorado em meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2006**. São Paulo, 2006 184p

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2009**. São Paulo, 2009 292p

DALVI, M.; GRELL G.; PECKMAN S. Development of an offline WRF/Chemistry model. In: WRF USERS WORKSHOP, 8. 2007. **Abstracts…** Disponível em: < http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/workshops/WS2007/abstracts/8-3_Dalvi.pdf> Acesso em: 15 nov 2012.

DENATRAN - Departamento Nacional de Transito. Disponivel em <htttp:// www.dentran.gov.br/>. Acesso em: 12 nov 2012

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA).**Compilation of Air Pollutant Emission Factors**.5 ed. Washington, 1999.AP-42, v. 1

FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS, M. A. F.; CHATFIED, R.; SILVA DIAS, P.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M. O; GRELL, G.; RODRIGUES L. F.; FAZENDA, A.; PANETTA, J. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments of the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation, **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 9, po 2843-2861, 2009.

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - **1º Inventário de emissões atmosféricas das fontes moveis do Estado do Rio Grande do Sul** – Ano Base - 2010.

FEEMA - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Relatório Anual da Qualidade do Ar**. Rio de Janeiro, 2007.91 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=431440&search=rio-grande-do-sul|pelotas>. Acesso em 31 jul 2013.

JACOBSON, M.Z. **Fundamentals of atmospheric modeling**, Cambridge.University Press, 1999 828 p.

LIMA, Ed. Estimação das Emissões originadas de Veículos leves na cidade de Maringá para o ano de 2005 **Acta Scientiarum**. **Tecnology**, Maringá v. 31, n. 1, p. 43-50, 2009

LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; SETZER, A.; PRINS, E.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M. O. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATTBRAMS) – Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories, **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 9, 2843–2861, 2009.

LONGO, K. M. ; FREITAS, S. R. ; PIRRE, M. O. ; MARÉCAL, V. ; RODRIGUES, L. F. ; ALONSO, M. F.; FONSECA; R. M., SANCHEZ Gácita; M., STOCKLER R. The Chemistry CATT-BRAMS model: a new tool for local and regional atmospheric chemistry modeling studies. **Geoscience Model Developing**, 2011. Em submissão.

MCT - Ministerio da Ciência e Tecnologia. Emissões de gases de efeito estufa no setor energético por fontes móveis. 2002. Disponivel em <http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/pdf/fontesm_p.pdf >. Acesso em: 11 jan. 2013.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E ENERGIA – ECONOMIA E ENERGIA (MCT;E&E). **Relatório final, projeto:** balanço de carbono. Brasília, 2003. n.010065.00

MMA- Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos> Acesso em: 04 maio 2014.

SALDIVA, P.H.N.; LICHTENFELS, A.J.F.C.; PAIVA, P.S.O.; BARONE, I.A.;MARTINS, M.A.; MASSAD, E; PEREIRA, J.C.R.; XAVIER, V.P.; SINGER, J.M.; BOHM, G.M. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. **Environment Research**, v. 65, po 218-225, 1994.

SALDIVA, P.H.N.; POPE, C.A.; SCHWARTZ, J.; DOCKERY, D.W.;LICHTENFELS, A.J.; SALGE, J.M.; BARONE, I.; BOHM, G.M. Air pollution and mortality in elderly People: a time-series study in São Paulo, Brazil. **Archives of Environmental Health**, v. 50, n. 2, 159-163, 1995.

SOARES, C. Trânsito: frota pelotense é a que mais cresce no Estado. Prefeitura Municipal de Pelotas, Pelotas, 2010 Disponível em: <http://www.pelotas.com.br/noticia/noticia.htm?codnoticia=22600> Acesso em: 15 fev 2013.

TEIXEIRA, E. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de porto alegre, rio grande do sul **Química. Nova**, v. 31, n. 2, p. 244-248, 2008

UEDA, C. Inventário de Emissões de Fontes Veiculares da Região Metropolitana de Campinas, São Paulo **Química. Nova**, v. 34, n. 9, p. 1496-248, 2008.