

PAULA ROSSI ZANOLLI

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELOS
AUTOMÓVEIS NA CIDADE DE ILHA SOLTEIRA – SP**

Ilha Solteira

2015

PAULA ROSSI ZANOLLI

Avaliação dos Impactos Ambientais Gerados pelos Automóveis na Cidade de Ilha Solteira - SP

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira,
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Recursos Hídricos e
Tecnologias Ambientais.

Profa. Dra. Luzenira Alves Brasileiro
Orientadora

Ilha Solteira
2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Z33a Zanolli, Paula Rossi .
Avaliação dos impactos ambientais gerados pelos automóveis na cidade de Ilha Solteira - SP / Paula Rossi Zanolli. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2015
54 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2015

Orientador: Luzenira Alves Brasileiro
Inclui bibliografia

1. Veículo automotor . 2. Emissão de gases. 3. Avaliação de impacto ambiental. 4. Método Top-Down. 5. Método Bottom-Up.

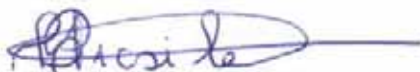
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Avaliação dos impactos ambientais gerados pelos automóveis na cidade de Ilha Solteira-SP

AUTORA: PAULA ROSSI ZANOLLI

ORIENTADORA: Profa. Dra. LUZENIRA ALVES BRASILEIRO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. LUZENIRA ALVES BRASILEIRO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Profa. Dra. LILIANE LAZZARI ALBERTIN
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. HUMBERTO CARLOS RUGGERI JUNIOR
Escola de Engenharia Civil / Universidade Federal de Goiás - UFG

Data da realização: 02 de março de 2015.

DEDICO

À minha mãe, meu maior exemplo de força e de fé e ao meu pai, meu maior amor e minha maior saudade.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus pelo dom da vida, pela proteção e por todas as graças já alcançadas.

À minha mãe que sempre acreditou em mim e sempre apoiou as minhas decisões.

Ao meu pai, que onde quer que esteja, tenho a certeza de sempre guiar meus passos, tornando a caminhada mais fácil.

À minha irmã Carla, que sempre me fez exemplo, dando-me, assim, forças para que eu nunca desistisse.

Às minhas companheiras de república Luana, Heloísa e Jéssica que me proporcionaram os melhores momentos em Ilha Solteira, e por fazerem da nossa casa um verdadeiro lar.

Obrigada também aos grandes amigos que aqui fiz, pelas boas conversas, pela companhia e pelo apoio. Muitos não sabem o quanto foram, e são importantes para a minha formação. Aos velhos e novos amigos, obrigada.

E por fim agradeço a Professora Doutora Luzenira Alves Brasileiro, por me orientar neste trabalho, por contribuir fortemente na minha formação pessoal e profissional, por toda luz e energia transmitida, e principalmente, pela amizade.

“Aprendi com as
primaveras a deixar-me
cortar e a voltar sempre
inteira.”

Cecília Meireles

RESUMO

Esta dissertação consiste em um estudo sobre a emissão de gases causada por veículos automotores na cidade de Ilha Solteira – SP. Para tal, busca-se a classificação dos veículos de acordo com parâmetros de categorização e tipo de combustível. A coleta de dados foi realizada em fontes de pesquisa governamentais e não governamentais e, posteriormente a classificação dos veículos, a quantificação e qualificação das emissões. A análise dos dados foi feita através do Método Top-Down e Método Bottom-Up. A partir desta metodologia, constatou-se que a cidade de Ilha Solteira emite através dos veículos automotores uma quantidade significativa de gases poluentes. Este trabalho visa levantar informações sobre a quantidade de gases emitidos por veículos automotores, qualificando-os para análise de impactos.

Palavras-chave: Veículo automotor. Emissão de gases. Avaliação de impacto ambiental. Método Top-Down. Método Bottom-up.

ABSTRACT

This dissertation is a study about gas emissions caused by motor vehicles in the city of Ilha Solteira - SP. For this purpose, was used the classification of vehicles according to categorization of parameters and type of fuel. The data collection was performed in governmental and non-governmental sources of research and, subsequently, the vehicle classification, quantification and qualification of emissions. For the data analysis, was employed the Top-Down Method and Bottom-Up Method. From this methodology, it was verified that the city of Ilha Solteira emits through of automotive vehicles a significant amount of polluting gases. The objective of the search was gather informations about the amount of gases emitted by motor vehicles and qualifying them for impact analysis.

Keywords: Motor vehicles. Gas emissions. Environmental impact assessment. Top-Down method. Bottom-Up method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Emissões de CO ₂ Equivalentes por Fonte (%) – Brasil 2006	21
Figura 2 - Emissões de CO ₂ Equivalentes no Transporte (%) – Brasil 2006	22
Figura 3 - Relação das Etapas do Ciclo Otto	24

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Comparativo veículos/per capita	16
Quadro 2	- Os Principais Poluentes Atmosféricos, Suas Fontes de Emissão e Seus Efeitos Sobre a Saúde	31
Quadro 3	- Fatores Médios de Emissão de Veículos Leves Novos	40
Quadro 4	- Fatores Médios de Emissão de Comerciais Leves Novos	41
Quadro 5	- Fatores de Emissão de Veículos Pesados com Motores do Ciclo Diesel em g/KM	41
Quadro 6	- Fatores Médios de Emissão de Motocicletas e Similares	42
Quadro 7	- Frota Circulante do Município de Ilha Solteira Separados por Combustível Utilizado	42
Quadro 8	- Distribuição das Categorias de Veículos	43
Quadro 9	- Frota Circulante por Município	43
Quadro 10	- Consumo de Combustível por Município	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	12
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	13
1.3	OBJETIVO	15
1.4	JUSTIFICATIVA	15
2	TRANSPORTE URBANO	17
2.1	CONCEITOS GERAIS	17
2.2	TRANSPORTE URBANO, MOBILIDADE E ACESSIBILIDADE	18
2.3	TRANSPORTE E MEIO AMBIENTE	20
3	POLUIÇÃO VEICULAR	23
3.1	CONCEITOS GERAIS	23
3.2	TIPOS DE EMISSÃO VEICULAR	23
3.2.1	Emissões pelo tubo de escapamento	25
3.2.2	Emissões do cárter	25
3.2.3	Emissões evaporativas e durante o reabastecimento	25
3.3	FATORES DETERMINANTES NAS EMISSÕES VEICULARES	26
3.3.1	Característica da frota circulante	26
3.3.2	Tipo e composição do combustível	26
3.3.3	Sistema de tráfego local	27
3.3.4	Modo de operação	27
3.3.5	Regulagem e manutenção	28
3.3.6	Traçado da via	28
4	GASES EMITIDOS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES	29
4.1	CONCEITOS GERAIS	29
4.2	PRINCIPAIS GASES EMITIDOS E SEUS EFEITOS	31
4.2.1	Monóxido de Carbono (CO)	32
4.2.2	Dióxido de Carbono (CO ₂)	33
4.2.3	Hidrocarbonetos (HC)	33
4.2.4	Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	33
4.2.5	Material Particulado (MP)	34
4.2.6	Óxidos de Enxofre (SO _x)	34
5	MATERIAIS E MÉTODOS	36
5.1	CONCEITOS GERAIS	36
5.2	MÉTODO TOP-DOWN	36
5.3	MÉTODO BOTTOM-UP	38
5.4	ÁREA DE ESTUDO	43

6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
6.1	EMISSIONES DE CO ₂ EM ILHA SOLTEIRA – SP	45
6.2	EMISSIONES DE CO e NO _x EM ILHA SOLTEIRA – SP	46
7	ANÁLISE AMBIENTAL	48
7.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	48
7.2	EFEITO ESTUFA	48
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
9	CONCLUSÕES	51
	REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONCEITOS GERAIS

O aumento do efeito estufa é sempre um dos principais assuntos em pauta nas discussões mundiais. A discussão do problema do aquecimento global abrange suas possíveis causas e consequências, quem são os responsáveis pelo aquecimento e quais são as medidas que devem ser tomadas pelos países para diminuir os impactos negativos desse fenômeno.

A queima de combustíveis fósseis em todo mundo é a principal causa das emissões de dióxido de carbono (CO_2), o principal gás de efeito estufa. Numa grande cidade, entre todos os setores que consomem combustíveis fósseis, o setor de transporte é um dos mais importantes. Então, além de ser grande responsável pela poluição local, emitindo gases como o monóxido de carbono, os óxidos de nitrogênio, os óxidos de enxofre, os aldeídos e o material particulado, este setor é também responsável pela emissão de grande quantidade de CO_2 (RIBEIRO; MATTOS, 2001).

As emissões veiculares são produzidas pelo processo de combustão e queima incompleta do combustível, sendo compostas por gases como: óxidos de carbono (CO e CO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos não queimados (HC), óxidos de enxofre (SO_x), partículas inaláveis (MP_{10}), etc., os quais são diariamente emitidos à atmosfera (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB, 2012).

Nos grandes centros urbanos do Brasil, tem se intensificado o aumento da motorização individual. Além de causar congestionamentos constantes, apresentam, a cada dia, problemas de transporte e qualidade de vida nas áreas urbanas (poluição sonora e do ar). Segundo o Departamento Nacional de Trânsito DENATRAN (2013), a frota veicular, em 2000, foi estimada em 29,7 milhões de veículos registrados e, em 2013, foi estimada em 81,6 milhões. A frota veicular cresceu mais de 170% num período de 13 anos, o que indica tendência de aumento constante da frota a cada década.

Com esse aumento de veículos circulando nas vias, notamos a importância deste acréscimo nos impactos ambientais gerados às cidades, pois a poluição do ar nos centros urbanos e a quantidade de veículos em circulação são diretamente proporcionais.

Como medida mitigadora, podemos citar a utilização de veículos leves mais eficientes e a utilização do transporte público, possibilitando assim uma significativa economia de combustível e uma consequente redução nas emissões de gases de efeito estufa.

A melhoria das condições de tráfego também é essencial para a redução desses gases. Controle nas interseções, números de faixas de rolamento, tempos de semáforo, facilidades para estacionamento e permissividade de conversões são fatores relacionados ao sistema de tráfego local com consequências indiretas na emissão veicular.

Cabe salientar que a quantidade de poluentes emitidos pelos veículos automotores depende de vários fatores, tais como o tipo de motor, sua regulação, manutenção e modo de dirigir. Além disto, os veículos podem poluir mesmo sem estar em funcionamento, pois com o motor desligado ocorre evaporação de combustível pelo suspiro do tanque e no sistema de carburação do motor, sendo grande parte desses vapores lançados para a atmosfera.

Veículos pesados (ônibus e caminhões) são responsáveis pela maior fração das emissões de óxidos de nitrogênio e de enxofre, enquanto que os veículos leves (automotores de passeio e de uso misto), movidos à gasolina e a álcool, são os principais emissores de monóxido de carbono e hidrocarbonetos. O diesel é notavelmente o combustível mais poluente e economicamente custoso, se considerarmos todas as perdas ambientais, infraestruturais e governamentais do seu uso (TEIXEIRA; FELTES; SANTANA, 2007).

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A poluição do ar derivada do tráfego de veículos é um dos mais graves problemas da degradação da qualidade do ar e do gerenciamento das áreas urbanas.

De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (2012), os veículos automotores causam mais poluição do ar do que qualquer atividade humana. Essas emissões veiculares carregam diversas substâncias tóxicas que, em grandes concentrações, causam danos à saúde da população e ao meio ambiente. Os efeitos nocivos da poluição veicular são percebidos pela população por meio de doenças cardiorrespiratórias e alérgicas, desenvolvimento de câncer e acréscimo das taxas de morbidade e mortalidade nas áreas urbanas.

Uma grande parcela dos problemas ambientais decorre do elevado número de veículos circulando no mundo. Em países com grandes extensões, com problemas no transporte público, como é o caso do Brasil, a poluição do ar acaba sendo ainda maior. Poluição essa que está diretamente ligada ao grande número de carros nos centro urbanos e à emissão de gases produzidos na queima de combustível.

O problema da poluição do ar, principalmente em grandes cidades, tem se revelado uma das grandes ameaças à qualidade de vida de seus habitantes. Há outros problemas além da poluição advindos do crescente número de automóveis, sendo um deles o congestionamento. Este congestionamento causa sérios danos à saúde e ao meio ambiente.

Os problemas ecológicos no setor de transportes urbanos são resultados principalmente da proliferação e da utilização de veículos particulares, assim como da ausência dos poderes públicos, que se recusam a reconhecer a carga real que estes veículos impõem à sociedade. Seus efeitos se fazem sentir não apenas em um local, mas em nível regional e global, podendo se agravar com o passar do tempo.

Localmente, os problemas associados ao uso dos automóveis têm efeitos mais sérios, repercutindo em vários campos: saúde, localização e igualdade social, qualidade de vida e necessidades de infraestrutura.

Quanto aos efeitos regionais, os poluentes primários provenientes das emissões de veículos, sob certas condições meteorológicas, transformam-se em poluentes secundários na atmosfera, como os aerossóis ácidos (sulfatos e nitratos) e as partículas finas, podendo ser deslocados a grandes distâncias pelos ventos dominantes.

Globalmente, o efeito estufa e o aquecimento global destacam-se como os principais problemas para o meio ambiente, devido ao aumento da concentração de certos gases na atmosfera que é resultado de emissões provenientes de processos de combustão.

1.3 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é determinar os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores na área urbana da cidade de Ilha Solteira - SP por meio dos fluxos veiculares.

1.4 JUSTIFICATIVA

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

A cidade de Ilha Solteira – SP possui aproximadamente 25000 habitantes e é considerada uma cidade de pequeno porte, porém possui uma frota de veículos automotivos relativamente grande, sendo a relação veículos per capita semelhante ao número de cidades de porte médio e grande.

Portanto, alguns dos problemas de trânsito existentes em Ilha Solteira se assemelham aos problemas ocorrentes em cidades de médio e grande porte. Dessa forma, verifica-se a necessidade de obter referências de níveis de emissão nessa localidade.

No quadro 1, como forma de comparação, é apresentado o número de veículos per capita nas cidades de Ilha Solteira e São Paulo.

Quadro 1 - Comparativo veículos/per capita

Cidade	Frota de Veículos – Junho de 2014 (DENATRAN)	População Estimada - 2014 (IBGE)	Relação veículos/habitante
Ilha Solteira	15878	26242	0,605
São Paulo	7156906	11895893	0,602

Fonte: elaborado pelo autor.

Além disso, após estudo realizado entre os anos de 2012 e 2013 na cidade, constatou-se que as vagas de estacionamento na avenida principal - Avenida Brasil, que corta a cidade de norte a sul e é a principal via do comércio varejista da cidade e por esse motivo tem os estacionamentos mais solicitados da cidade – é insuficiente. Sendo assim, a Avenida apresenta congestionamento em ambos os sentidos, fazendo com que a falta de vagas cause transtorno aos motoristas e ao meio ambiente. O consumo de combustíveis fósseis apresenta um impacto significativo na qualidade do ar e o uso crescente de veículos agrava ainda mais essa situação. Quando há um déficit de vagas para estacionar, os carros circulam por mais tempo em busca de vagas e isto aumenta a emissão de CO₂ na atmosfera que é uma das principais causas do efeito estufa (ZANOLLI, 2013).

2 TRANSPORTE URBANO

2.1 CONCEITOS GERAIS

O setor de transportes é uma das mais importantes forças motrizes da economia mundial, pois permite a movimentação de pessoas, bens e serviços, contribuindo para o crescimento econômico. Estima-se que o valor adicionado à economia brasileira pelo setor de transportes equivalha a cerca de 5,5% do Produto Interno Bruto do país (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2011).

Estudos apontam que no ano de 2012, o custo logístico correspondeu a 12% do PIB brasileiro. Comparado com os EUA, cujo gasto é de 8% anual, o Brasil perde cerca de US\$83,2 bilhões anuais. Já a China, tem um custo em torno de 13% anual, porém esse custo de logística é compensado pelo custo de transporte, que é 20% menor que no Brasil. Enquanto a China gasta 5,5% do PIB com transporte, o Brasil gasta em torno de 7%. Se comparado com a Índia, o Brasil também continua em posição desfavorável. O custo de logística naquele país chega a 10% do PIB, sendo o custo de transporte da ordem de 5% do PIB. Ou seja, 30% mais baixo do que o do Brasil (RESENDE, 2012).

Outra variável que demonstra a desvantagem do Brasil é o custo de transporte ferroviário. Em 2008, enquanto na China o custo era de US\$ 8,75 mil/TKU (toneladas-quilômetros úteis), nos EUA era de US\$ 19,96 mil/TKU e no Brasil, de US\$ 26,97/TKU (RESENDE, 2012).

A concentração do transporte no modal rodoviário é uma grande desvantagem para o setor de transporte brasileiro. Se houvesse uma matriz de transporte de carga ferroviária, com certeza teríamos uma economia de bilhões todo ano, mostrando assim, que uma economia desenvolvida possui baixo custo de logística.

O crescimento muitas vezes desordenado do setor de transportes causa diversos impactos ambientais locais, regionais ou até mesmo globais, por exemplo, o efeito estufa. As principais preocupações com os transportes são relativas aos custos relacionados à segurança, à poluição (do ar, da água e sonora), à

competição pelo espaço urbano e aos riscos associados ao problema de desabastecimento de petróleo e derivados.

A demanda pelo transporte de passageiros e de carga, na maioria dos países em desenvolvimento, cresce de 1,5 a 2 vezes mais rápido que o PIB, sendo que a maior parte deste crescimento é no transporte rodoviário, potencializando os problemas ambientais (WORLD BANK, 2000 apud MATTOS, 2001). No entanto, o transporte é necessário para o desenvolvimento da economia e seu crescimento deve ser feito de maneira planejada de forma a minimizar tais impactos.

2.2 TRANSPORTE URBANO, MOBILIDADE E ACESSIBILIDADE

O movimento de pessoas e de bens constitui uma necessidade fundamental da sociedade, cabendo ao transporte a função de permitir a realização desses movimentos. Quando esse movimento ocorre no interior de uma cidade, denominamos transporte urbano. Este tipo de transporte ocorre com a utilização de meios de transporte coletivos ou individuais.

O transporte coletivo tem como característica o deslocamento de muitas pessoas, por ônibus, trens ou metrô, permitindo o uso do mesmo corredor viário com maior eficiência e menores custos para o indivíduo. Os serviços de transporte urbano de massas afetam diretamente a qualidade de vida de uma cidade, porque definem as alternativas de deslocamento que os habitantes têm a sua disposição, as atividades de que podem participar e os locais aonde podem ir.

Já o transporte individual, ou privado, é o contraponto ao transporte coletivo. Neste caso o indivíduo proprietário ou não do veículo, faz o seu deslocamento sozinho - embora possa haver a possibilidade de levar mais do que um passageiro em determinados veículos - com a possibilidade de transporte de carga adicional. O transporte individual proporciona inúmeras vantagens em relação a outras modalidades de transporte como velocidade, conforto e independência. Porém, o aumento constante de veículos em circulação nas áreas urbanas causa conflito entre os diversos usuários e a cidade, como a queda da mobilidade e da acessibilidade, os congestionamentos, o aumento do número de acidentes de trânsito e a falta de vagas em estacionamentos, além dos conflitos com o meio

ambiente. Esta situação tende a se agravar já que a falta de transporte público de qualidade estimula o uso do transporte individual.

Nos países em desenvolvimento, o transporte público é citado em todas as políticas de circulação e transporte como tendo por prioridade atender a maioria da população que dele depende. Este tipo de priorização é muito importante, uma vez que muitos técnicos de países em desenvolvimento estudam meios de convencer os usuários de automóvel a usar o transporte público. Considerando os problemas de poluição associados ao uso dos automóveis, a solução mais comum e de menor custo para os usuários é o emprego dos ônibus urbanos, que circulam na capital, e dentro e entre os municípios.

Este cenário de conflitos que invariavelmente constitui o trânsito faz com que percebamos que sua complexidade precisa ser entendida enquanto um sistema, ou seja, um conjunto de elementos que cooperam na realização de uma função comum. No trânsito, a função comum é o deslocamento: chegar ao destino são e salvo. Para que o trânsito possa realizar sua função, faz-se necessário o atendimento às demandas dos seus participantes (ROZESTRATEN, 1988 apud ARAUJO et al., 2010).

Dentre essas demandas, está a garantia à mobilidade. Esse conceito pode ser entendido como a capacidade dos indivíduos de se deslocarem no meio urbano para realizar suas atividades. A mobilidade está relacionada com os deslocamentos diários da população em área urbana. A mobilidade é um componente da qualidade de vida aspirada pelos habitantes de uma cidade.

No entanto, para garantir que o trânsito aconteça satisfatoriamente, não basta atender apenas as demandas por mobilidade, a acessibilidade também é de suma importância. Este conceito equivale à facilidade de se atingir os destinos desejados. Podemos considerar duas formas de acessibilidade: a acessibilidade ao sistema de transporte (mede a facilidade de o usuário acessar o sistema de transporte coletivo) e a acessibilidade a destinos (mede a facilidade de se chegar ao destino desejado após o acesso ao sistema de transporte). Sendo assim não é suficiente ter condições de fazer uso do sistema (que garante a mobilidade), se não há a possibilidade de acesso ao local de chegada (acessibilidade a destinos) e vice-versa.

Considerando as definições acima, notamos o quanto esses dois fenômenos estão diretamente relacionados. A Mobilidade que diz respeito à capacidade das pessoas realizarem seus deslocamentos diários em um espaço urbano é fortemente influenciada pela Acessibilidade, já que essa retrata as condições de serviços ofertados pelo transporte público.

Quando pensamos em mobilidade e acessibilidade, logo pensamos em uma maior qualidade de vida para o cidadão. E falar em qualidade de vida no trânsito implica necessariamente em abordar o transporte público. O ideal para uma cidade seria a eficiência do transporte coletivo, garantindo assim uma maior qualidade de vida no trânsito, mas infelizmente não é isso o que ocorre. O transporte coletivo no Brasil tem um alto nível de ineficiência. Nas últimas décadas as cidades se tornaram espaços eficientes apenas para automóveis. Com o aumento substancial da frota de automóveis, surgiram soluções eficientes apenas para populações de nível de renda mais alto. Medidas para ampliação e adaptação foram tomadas, garantindo maior fluidez para o automóvel. Esse crescimento desenfreado dos automóveis nos últimos anos acarretou em uma deterioração do transporte público. A ampliação do sistema viário para a fluidez dos automóveis drenou a maior parte dos recursos destinados aos transportes urbanos em detrimento do transporte coletivo (GOMIDE, 2006 apud ARAUJO et al., 2010). O aumento na produção de veículos e o favorecimento do transporte individual em detrimento do público beneficiam uma minoria e implicam a deterioração da qualidade de vida dos cidadãos de uma cidade.

2.3 TRANSPORTE E MEIO AMBIENTE

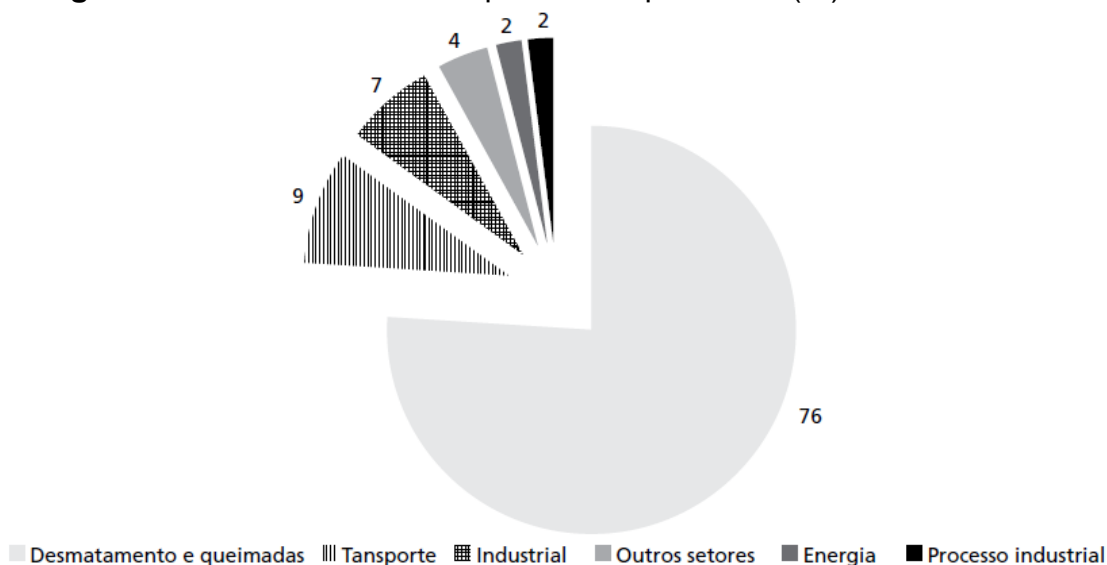
O transporte de pessoas e de mercadorias sempre esteve associado à geração de alguma forma de poluição, seja atmosférica, sonora ou pela intrusão visual nos centros urbanos, independente do modal predominante. Na era do transporte motorizado, a ineficiência do transporte urbano coletivo e a intensidade de utilização do transporte individual pela população, são condicionantes importantes para explicar os altos índices de poluição veicular.

Há várias substâncias nocivas ao homem e ao ambiente que são lançadas na atmosfera pelos veículos automotores, principalmente em função do processo de queima dos combustíveis fósseis.

Quantificar as fontes móveis de emissão dos principais poluentes é fundamental para a formulação das políticas públicas ambientais e de gestão de transporte e trânsito que busquem resultados mais efetivos no controle das emissões, focando nos maiores agentes poluidores.

O setor de transporte responde por cerca de 20% das emissões globais de CO₂, que é um dos principais gases causadores do efeito estufa, sem considerar a emissão de outros gases também nocivos ao meio ambiente. No Brasil, segundo informações do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), o setor de transporte responde por cerca de 9% das emissões totais de CO₂, sendo que as queimadas respondem por mais de 70% delas (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT, 2009).

Figura 1 - Emissões de CO₂ Equivalentes por Fonte (%) – Brasil 2006

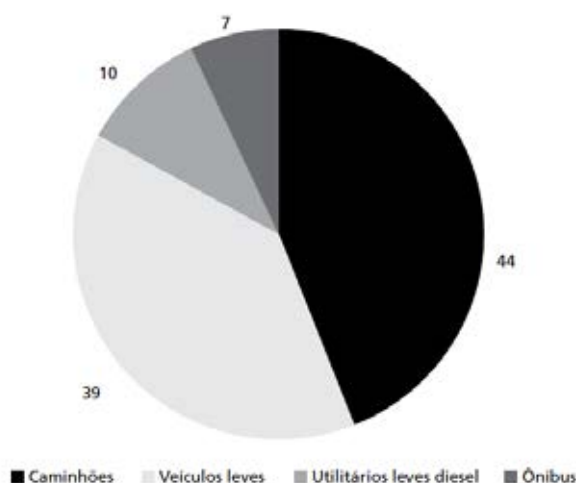


Fonte: Carvalho (2011).

Considerando apenas o transporte rodoviário no Brasil, os sistemas de ônibus, que respondem por mais de 60% dos deslocamentos urbanos e mais de 95% dos deslocamentos intermunicipais, são responsáveis por apenas 7% das emissões totais de CO₂. Os automóveis e comerciais leves, com menos de 30% de participação no total de viagens realizadas, contribuem com metade das emissões

desse poluente. Esses dados mostram que o sucesso das políticas ambientais voltadas para o transporte tem que passar necessariamente por medidas que fomentem a substituição do transporte individual pelo coletivo (CARVALHO, 2011).

Figura 2 - Emissões de CO₂ Equivalentes no Transporte (%) – Brasil 2006



Fonte: Carvalho (2011).

Além do Dióxido de Carbono, o transporte motorizado, com base na queima de combustíveis fósseis, também é responsável pela emissão de vários poluentes nocivos à saúde e que degradam o ambiente urbano, com destaque para o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), os materiais particulados, os óxidos de nitrogênio (NO_x) e os óxidos de enxofre (SO_x) (CARVALHO, 2011).

Segundo estudos do Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental, da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP), cerca de 3 mil mortes por ano na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) estão relacionadas à poluição do ar, representando um custo anual de cerca de R\$ 1,5 bilhão para a cidade, somando com o tratamento das cerca de 200 doenças associadas (CARVALHO, 2011).

Devido aos danos causados à saúde e ao bem-estar da humanidade, a questão ambiental adquire cada vez maior relevância. Evidencia-se que a emissão de gases poluentes, em grande parte por consequência da queima de combustíveis fósseis pelos transportes, é causadora das chuvas ácidas e da nuvem de poluição urbana, além dos Gases de Efeito Estufa (GEEs), entre eles o dióxido de carbono, que se acumulam rapidamente na atmosfera causando o aquecimento global.

3 POLUIÇÃO VEICULAR

3.1 CONCEITOS GERAIS

A qualidade do ar urbano é determinada por um complexo sistema de fontes fixas (indústrias, queima de lixo, fornos, caldeiras, etc.) e móveis (veículos automotores). Os ônibus e caminhões são responsáveis pela emissão de óxidos de nitrogênio e de enxofre, enquanto que os veículos leves (automotores de passeio e de uso misto) movidos à gasolina e a álcool são os principais emissores de monóxido de carbono e hidrocarbonetos (MONTEIRO, 1998).

A rápida e contínua urbanização das cidades, associada à necessidade de sistemas adequados de transporte público e ao aumento de motorização individual, tem originado congestionamentos de tráfego e poluição por veículos automotores nos centros urbanos. Deste modo, o transporte pode ser considerado o maior responsável pela contaminação atmosférica gerada pela emissão de gases tóxicos dos veículos automotores no meio ambiente (TACO, 2006).

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

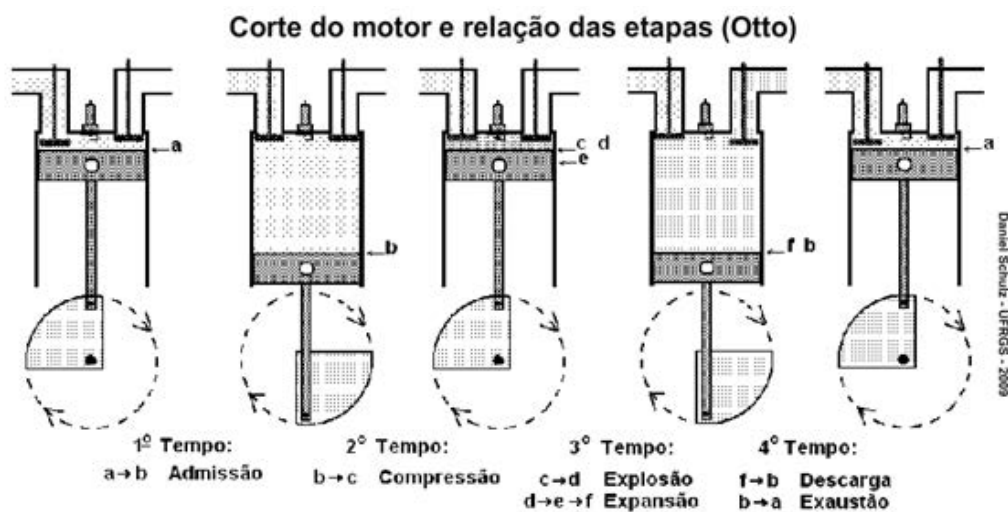
Os veículos automotores são as principais fontes de emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos totais e óxidos de nitrogênio. Para os óxidos de enxofre, além dos veículos, as indústrias são as principais fontes (CETESB, 2012).

3.2 TIPOS DE EMISSÃO VEICULAR

A maioria dos poluentes lançados na atmosfera é proveniente do processo de combustão dos veículos. Os veículos automotivos utilizam motores de combustão interna e são classificados em duas categorias:

- **Motor de Ciclo Otto:** a característica fundamental desse motor é que na etapa de admissão (1º tempo) as máquinas aspiram uma mistura gasosa de ar e combustível (gasolina, álcool, gás ou outro combustível). Depois que o cilindro está cheio com a mistura gasosa, a válvula de admissão que estava aberta durante o 1º tempo, fecha-se; então, a mistura de ar e o combustível sofrem compressão (2º tempo). Em seguida uma centelha elétrica na vela de ignição deflagra a explosão e consequentemente a expansão (3º tempo) da mistura gasosa. Por fim, a válvula de escape abre-se, ocorrendo simultaneamente a descarga da mistura gasosa para a atmosfera e a exaustão do restante dos gases queimados (4º tempo).

Figura 3 - Relação das Etapas do Ciclo Otto



Fonte: Schulz (2009).

- **Motor de Ciclo Diesel:** esse tipo de motor é essencialmente caracterizado pela combustão causada pela compressão da mistura de ar e combustível (óleo diesel). O ar é admitido pela câmara no primeiro ciclo. No segundo ciclo, o pistão faz a compressão, injetando combustível sob pressão no interior da câmara. Em função das altas temperaturas e da grande pressão no interior da câmara, a mistura sofre a explosão ao final do ciclo. Essa explosão provoca a expansão do gás, caracterizando o terceiro ciclo. Por fim, o gás dos resíduos da combustão é liberado pelas válvulas, reiniciando o processo.

Estes motores apresentam diferenças quanto ao funcionamento, à robustez, às relações de compressão de ambos, ao sistema de introdução de combustível e à ignição. Nos veículos movidos à gasolina (ciclo Otto), as emissões se dividem entre o escapamento, o cárter, o carburador (quando for o caso) e o tanque de combustível. Nos veículos movidos a diesel, as emissões se concentram no escapamento, com predominância de material particulado orgânico sob a forma de fumaça (TACO, 2006).

3.2.1 Emissões pelo tubo de escapamento

As emissões de escapamento são os subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento. Os produtos da combustão completa são CO_2 , H_2O e N_2 ; da combustão incompleta são CO , HC , aldeídos (R-CHO) e NO_x , e, ainda, têm os produtos indesejáveis como material particulado e SO_x (mais expressivos em motores de ciclo Diesel). A formação de SO_x deve-se ao conteúdo de enxofre presente nos combustíveis.

3.2.2 Emissões do cárter

As emissões de gases do cárter são compostas de gases de combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante (Balassiano, 1991 apud TACO, 2006). Os hidrocarbonetos (HC's), nas suas distintas configurações, são os elementos poluentes que aparecem em maior proporção nas emissões do cárter.

3.2.3 Emissões evaporativas e durante o reabastecimento

Esse tipo de emissão é caracterizada por perdas pela evaporação de hidrocarbonetos do combustível, principalmente a temperaturas elevadas, geradas principalmente quando o carro não está em movimento. As perdas evaporativas com o carro em movimento são geralmente desprezadas. Essas emissões são provenientes do tanque de combustível, do carburador (quando for o caso), por meio de vazamentos e percolações nas conexões e mangueiras.

3.3 FATORES DETERMINANTES NAS EMISSÕES VEICULARES

As emissões veiculares variam em função de um número elevado de fatores, os quais determinam os padrões de emissão veicular dos gases, destacando-se:

3.3.1 Característica da frota circulante

As características dos veículos (tamanho, peso, potência e número de carburadores) interferem na quantidade emitida de poluentes, decorrente de um maior consumo de combustível. Um automóvel movido à gasolina não polui da mesma forma que outro veículo a álcool, um ônibus ou uma motocicleta. Além disto, para cada modelo de automóvel é associado um diferente fator de emissão.

Veículos mais novos são menos poluidores devido à busca de soluções tecnológicas pelas indústrias automobilísticas. Com o uso, o desgaste de peças e componentes afeta as características de eficiência do motor, provocando índices mais elevados de emissão.

3.3.2 Tipo e composição do combustível

Áreas que possuem um maior contingente de ônibus e caminhões em circulação, utilizando basicamente diesel como combustível, apresentará um índice de emissão de partículas em suspensão mais elevado do que se possuísse uma frota composta por veículos movidos à gasolina e/ou álcool. Contudo, esses últimos provocam altas taxas de emissão de CO.

Portanto, o tipo de combustível utilizado define a qualidade da queima da mistura ar-combustível dentro do motor, influenciando na formação dos poluentes emitidos na localidade.

A quantidade de impurezas presentes nos combustíveis, bem como a redução da participação do álcool na composição da gasolina, podem comprometer a qualidade ambiental de uma área urbana. O chumbo tetraetila, altamente tóxico e de graves efeitos à saúde humana, foi substituído na composição da gasolina pelo álcool, com características antidetonantes similares e grau de toxidez inferior. (MONTEIRO, 1998)

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

3.3.3 Sistema de tráfego local

A emissão de poluentes gasosos é estreitamente dependente das condições de tráfego, cujas características podem variar consideravelmente de uma área para outra. Controle nas interseções, números de faixas de rolamento, tempos de semáforo, facilidades para estacionamento e permissividade de conversões são fatores relacionados ao sistema de tráfego local com consequências indiretas na emissão veicular.

As condições de congestionamento de tráfego são críticas para a emissão de poluentes em geral. As maiores emissões são as de CO, e se dão quando os veículos estão parados (com motor ligado). A condição mais favorável em termos de emissão de poluentes é quando os veículos operam a velocidade constante. Entre as exceções estão o NO_x, que apresenta o segundo maior grau de emissão nesta condição.

3.3.4 Modo de operação

O modo de operação, em geral, incorpora também algumas das variáveis características do sistema de tráfego local. No entanto, outras variáveis não consideradas anteriormente, como o desempenho, a velocidade, o comportamento e o estilo de dirigir de cada motorista, podem provocar sensíveis diferenças tanto no consumo de combustível quanto na emissão de poluentes. No regime de marcha lenta, o motor opera com uma mistura rica em combustível, ou seja, um excesso de combustível para a quantidade de ar aspirada pelo motor, comprometendo a eficiência da combustão. Por conseguinte, altas taxas de emissão de poluentes, elevação do consumo de combustíveis e dos tempos de viagem serão prejudiciais ao bom funcionamento do motor (MONTEIRO, 2006).

O excesso de carga no veículo também deve ser evitado. Sabe-se que uma sobrecarga de peso pode aumentar o consumo de combustível, além de possibilitar danos ao motor, aumenta a emissão de fumaça preta.

3.3.5 Regulagem e manutenção

A regulagem e manutenção adequadas mantêm um funcionamento eficiente do motor, evitando desperdícios de combustível e garantindo que os níveis de emissão permaneçam dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

A qualidade da manutenção dos veículos está ligada basicamente a quatro fatores:

- capacitação técnica;
- cuidados com os serviços;
- peças de reposição;
- hábitos de manutenção.

3.3.6 Traçado da via

A largura e a inclinação da via também influem na emissão. A largura em relação à liberdade do fluxo, e a inclinação, que leva a um maior consumo de combustível nas subidas ocasionando uma maior emissão.

4 GASES EMITIDOS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES

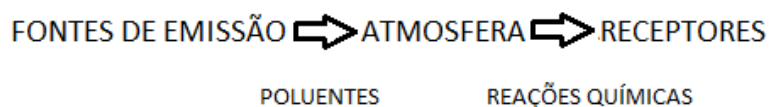
4.1 CONCEITOS GERAIS

O nível de poluição do ar é medido pela qualificação e quantificação das substâncias poluentes nele presentes. Considera-se poluente qualquer substância que, pela sua concentração, possa tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade (CETESB, 1997).

A atmosfera pode ser considerada o local onde ocorrem reações químicas permanentemente. Assim, a poluição atmosférica é um fenômeno que abrange três fases importantes: emissão, dispersão e concentração. O processo de poluição atmosférica inicia-se com a emissão de poluentes por fontes naturais ou antropogênicas. Emitido o poluente na atmosfera, o processo da poluição atmosférica tem continuidade com a dispersão, por meio do transporte dos poluentes pelas massas de ar (poluentes primários), para um receptor (TACO, 2006). Durante esse transporte, a combinação de dois ou mais poluentes pode provocar reações químicas, formando os poluentes secundários como o *smog* fotoquímico, originado pela inversão térmica. A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera definirá o nível de qualidade do ar, que determinará, por sua vez, o surgimento de efeitos adversos da poluição atmosférica sobre os receptores (ser humano, animais, plantas e os ambientes construídos).

Segundo Derisio (2000), quando se determina a concentração de um poluente na atmosfera, está sendo medido o grau de exposição dos receptores como resultado final do processo de lançamento deste poluente e suas interações na atmosfera.

O sistema pode ser visualizado da seguinte forma:



É importante destacar que mesmo mantidas as emissões, a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas que determinam uma maior ou menor difusão dos poluentes. É por isso que a qualidade do ar piora durante os meses de inverno, quando as condições meteorológicas são desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

Os principais poluentes são geralmente escolhidos como parâmetros indicadores da qualidade do ar. Entre esses indicadores, citam-se: dióxido de enxofre (SO_2), poeira em suspensão, monóxido de carbono (CO), oxidantes fotoquímicos expressos como ozônio (O_3), hidrocarbonetos totais e óxidos de nitrogênio (NO e NO_2) (MONTEIRO, 1998).

O Quadro 2 a seguir mostra os poluentes atmosféricos, suas fontes de emissão e seus efeitos sobre a saúde.

Quadro 2 - Os Principais Poluentes Atmosféricos, Suas Fontes de Emissão e Seus Efeitos Sobre a Saúde

POLUENTES	FONTES	EFEITOS SOBRE A SAÚDE
Monóxido de Carbono (CO)	Veículos (95,5% das emissões) e indústrias	Combina-se com a hemoglobina formando a carboxihemoglobina, um composto que diminui a oxigenação do sangue, prejudica o desenvolvimento dos fetos, causa tonturas, produz efeitos nos sistemas nervoso central, pulmonar, redução dos reflexos e da acuidade visual.
Hidrocarbonetos (HC)	Resultante da queima incompleta e evaporação de combustíveis e outros produtos voláteis.	Provocam irritação nos olhos, nariz, pele e aparelho respiratório. Podem causar dano celular, sendo que diversos HC's são considerados carcinogênicos e mutagênicos
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	Processo de combustão em geral e veículos.	Podem provocar desconforto respiratório, diminuição da resistência a infecções e alterações celulares.
Ozônio (O ₃)	Ação da luz solar sobre hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.	Provoca danos na estrutura pulmonar, diminui a resistência às infecções deste órgão, aumenta a incidência de tosse, asma, irritação no aparelho respiratório e nos olhos.
Óxidos de enxofre (SO _x)	Indústrias e veículos.	Em concentrações altas, causa inflamações graves da mucosa nas vias respiratórias e, é até fatal. Aumenta a incidência de rinite, faringite e bronquite. Afeta plantas e espécies mais sensíveis, causa acidificação do solo e corpos d'água.
Material particulado (fumaça, poeira e fuligem)	Veículos movidos a diesel, indústrias, desgaste dos pneus e freios de veículos em geral.	Agravam quadros alérgicos, de asma e bronquite. As poeiras mais grossas ficam retidas no nariz e na garganta, causando irritação e facilitando a propagação de infecções gripais.
Aldeídos	Veículos	Irritação dos olhos, nariz e garganta. Os aldeídos emitidos por veículos a diesel, a gasolina e a álcool podem provocar câncer.

Fonte: Carvalho (2011).

Como podemos observar com os dados do quadro acima, grande parte dos gases emitidos tem origem veicular. E isso gera efeitos sobre a saúde e a qualidade de vida da sociedade.

4.2 PRINCIPAIS GASES EMITIDOS E SEUS EFEITOS

Os principais poluentes emitidos diretamente pelos veículos automotores são: o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio

(NO_x), os óxidos de enxofre (SO_x), o material particulado (MP) (partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis e partículas inaláveis finas) e os aldeídos.

Esses poluentes principais podem ocasionar efeitos sobre a saúde humana, o bem-estar da comunidade, a segurança do tráfego, a vegetação entre outros. No que se refere à saúde em particular, a existência de indivíduos suscetíveis à exposição a estes poluentes, tais como portadores de doenças cardiovasculares e respiratórias, pessoas idosas e crianças, causa maior preocupação, pois a exposição excessiva pode vir a ser fatal.

4.2.1 Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono é um gás inodoro, incolor e altamente tóxico. Esse gás é liberado no ambiente por fontes naturais (atividade vulcânica, descargas elétricas e emissão de gás natural) e como produto da combustão incompleta de combustíveis fósseis, sistemas de aquecimento, usinas termelétricas a carvão, queima de biomassa e tabaco.

A atmosfera é o compartimento principal de dispersão enquanto que as águas superficiais encontram-se saturadas do gás. Na atmosfera o composto pode sofrer oxidação por radicais livres formando dióxido de carbono.

A principal via de exposição ao monóxido de carbono é a respiratória. Intoxicações agudas podem ser fatais. Uma vez inalado, o gás é rapidamente absorvido nos pulmões e em circulação liga-se de maneira estável com a hemoglobina, impedindo o transporte do oxigênio e causando hipóxia tecidual. Por isso, a exposição ao composto está também associada a prejuízos na acuidade visual, no aprendizado, na capacidade de trabalho e aumento na mortalidade por infarto cardíaco agudo entre idosos. O CO rapidamente atravessa as membranas alveolar, capilar e placentária. Entre 80- 90% do CO absorvido liga-se a hemoglobina formando carboxihemoglobina (COHb). A afinidade da hemoglobina com o monóxido de carbono é de 200- 250 vezes maior que a do oxigênio (CETESB, 2012).

4.2.2 Dióxido de Carbono (CO₂)

O dióxido de carbono (CO₂) contribui com aproximadamente 50% para o aquecimento global. Estima-se que o tempo médio de residência deste gás na atmosfera seja de 50 a 200 anos (MONTEIRO, 1998).

O CO₂ é encontrado na atmosfera de forma não natural através do consumo de combustíveis à base de carbono (carvão, petróleo e gás natural) pelos veículos automotores, através do desmatamento (com oxidação do conteúdo de carbono e com liberação desta para a atmosfera) e erosão do solo (reservatório importante de carbono). A forma natural se dá através dos vulcões e da decomposição de matéria orgânica.

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

4.2.3 Hidrocarbonetos (HC)

Os hidrocarbonetos (HC) são combustíveis não queimados ou parcialmente queimados que é expelido pelo motor - alguns tipos de hidrocarbonetos reagem na atmosfera promovendo a formação do "smog" fotoquímico.

Os hidrocarbonetos, conjunto de gases que lançados à atmosfera atuam na formação do ozônio, poluente que quando formado próximo à superfície da terra afeta a saúde da população. Os hidrocarbonetos são emitidos principalmente pelos automóveis com tecnologias mais antigas (CETESB, 2011).

4.2.4 Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

O NO não tem cheiro nem cor e é produzido em processo de combustão pela oxidação de N₂ do ar pelo O₂. A reação $N_2 + O_2 = 2 NO$ é favorável em altas temperaturas e, por isto, sua produção é maior em motores de veículos pesados (SALA, 1999 apud TACO, 2006). Os automóveis também produzem NO, sobretudo quando estão em alta velocidade.

Os NO_x contribuem para a formação do smog fotoquímico devido à sua reação com alguns grupos de hidrocarbonetos, ocasionando a redução de visibilidade nas vias.

4.2.5 Material Particulado (MP)

Sob a denominação geral de Material Particulado se encontra um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar.

O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde, sendo que quanto menores maiores são os efeitos provocados. O particulado pode também reduzir a visibilidade na atmosfera.

4.2.6 Óxidos de Enxofre (SO_x)

Os óxidos de enxofre são gerados devido à queima de combustíveis, tanto no setor industrial, quanto no setor de transportes, principalmente pelos veículos movidos a diesel por conta do alto teor de enxofre destes. Os efeitos do dióxido de enxofre estão relacionados com diversos tipos de irritação, principalmente no aparelho respiratório, podendo ser temporárias ou permanentes. A exposição a altas concentrações de SO_2 agrava as doenças respiratórias e cardiovasculares pré-existentes. Estudos epidemiológicos e clínicos mostram que certas pessoas são mais sensíveis ao SO_2 que outras. Exposições prolongadas a baixas concentrações de SO_2 têm sido associadas ao aumento de morbidade cardiovascular em pessoas idosas. Em certas condições, o SO_2 pode transformar-se em SO_3 , por ação catalítica de metais mediante a absorção de energia solar, e que, quando combinado com a umidade do ar, produz ácido sulfúrico. Os NO_x e SO_2 , causadores da chuva ácida,

podem causar danos, como corrosão, em diversos materiais (SALA, 1999 apud TACO, 2006).

5 MATERIAIS E MÉTODO

5.1 CONCEITOS GERAIS

Para o cálculo de quantificação das emissões de gases produzidos por veículos automotores foram utilizados os Métodos Top-Down e Bottom-Up.

Segundo as diretrizes da publicação “Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories – Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, as emissões de gases do efeito estufa de fontes móveis são melhor calculadas pela quantidade de combustível queimado, seu teor carbônico e as emissões correspondentes de CO₂ (método Top-Down).

As emissões veiculares de metano - CH₄ contidas nos hidrocarbonetos não queimados - HC, de óxido nitroso - N₂O, bem como as de monóxido de carbono - CO e óxidos de nitrogênio - NO_x, que também contribuem direta ou indiretamente com o efeito estufa, são mais difíceis de estimar com precisão. Seus fatores de emissão típicos, além de serem extremamente reduzidos, quando comparados aos de CO₂, dependem de detalhado conhecimento da tecnologia de motorização, das condições de manutenção dos motores, da qualidade do combustível e das diversas características da operação. No entanto, esses cálculos podem ser feitos a partir desses fatores de emissão e da quilometragem média percorrida - ou da quantidade de combustível consumido - de cada subgrupo de veículos da frota com características similares (método Bottom-Up).

5.2 MÉTODO TOP-DOWN

A estimativa das emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) pelo método “Top-Down” recomendada pelo Ministério das Minas e Energia - MME em 1999 no Balanço Energético Nacional – BEN, prevê a conversão de todas as medidas de consumo de combustível para uma unidade comum:

$$CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

- 1 tEP(Brasil) = $45,2 \times 10^{-3}$ TJ (tera-joule = 1012 J);
- CC = consumo de energia em TJ;
- CA = consumo de combustível (m^3 , L, kg);
- Fconv = fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tEP, com base no poder calorífico superior (PCS) do combustível (valores podem variar de ano para ano, de acordo com a publicação anual do BEN pelo MME www.mme.gov.br). Os valores dos Fconv são: gasolina (0,771 tEP/ m^3); álcool anidro (0,520 tEP/ m^3); álcool hidratado (0,496 tEP/ m^3); diesel (0,848 tEP/ m^3); gás natural seco (0,857 tEP/103 m^3);
- Fcorr = fator de correção de PCS para PCI (poder calorífico inferior). No BEN, o conteúdo energético tem como base o PCS, mas para o IPCC, a conversão para unidade comum de energia deve ser feita pela multiplicação do consumo pelo PCI. Para combustíveis sólidos e líquidos o Fcorr = 0,95 e para combustíveis gasosos, o Fcorr = 0,90, conforme Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT.

Conteúdo de Carbono

A quantidade de carbono emitida na queima do combustível deve ser calculada conforme segue:

$$QC = CC \times F_{emiss} \times 10^{-3} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

- QC = conteúdo de carbono expresso em GgC;
- CC = consumo de energia em TJ;

- Femiss = fator de emissão de carbono (tC/TJ). Os valores do IPCC, 1996 e MCT, 1999 dos Femiss são: gasolina (18,9 tC/TJ); álcool anidro (14,81 tC/TJ); álcool hidratado (14,81 tC/TJ); diesel (20,2 tC/TJ); gás natural seco (15,3 tC/TJ);
- $10^{-3} = \text{tC/GgC}$

Emissões de CO₂

Finalmente, as emissões de CO₂ podem ser calculadas de acordo com a Equação (3), lembrando que em função dos respectivos pesos moleculares, 44 t CO₂ corresponde a 12 t de C ou 1t CO₂ = 0,2727 t C.

$$ECO_2 = QC \times 44/12 \quad \text{Equação (3)}$$

Onde,

- ECO₂ = emissão de CO₂ expresso em GgC;
- QC = emissão de C expresso em GgC .

5.3 MÉTODO BOTTOM-UP

Os cálculos das emissões de gases de efeito estufa pelo método Bottom-Up podem ser realizados como procedimento adicional ao método Top-Down, desde que haja dados locais detalhados e confiáveis sobre a tecnologia de motorização utilizada, qualidade do combustível, consumo, quilometragem, fatores de emissão levantados em laboratórios locais, estado de manutenção da frota etc, para cada subgrupo de veículos com características similares. O IPCC recomenda essa prática como forma de aferição dos cálculos e consequente melhoria da qualidade da informação.

Os cálculos das emissões de CO₂ devem ser feitos conforme segue:

$$Emiss_i = \sum FE_{iabc} \times Atividade_{abc} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

- $Emiss_i$ = emissões de um gás i;
- FE_i = fator de emissão do gás i;
- Atividade = quantidade de energia consumida ou distância percorrida;
- i = CO₂, CO, NO_x, CH₄, MP, N₂O;
- a = tipo de combustível;
- b = tipo de veículo;
- c = tecnologias de controle de emissões.

Para o cálculo a partir da quilometragem anual deve ser utilizada a seguinte expressão:

$$Emiss_i = \sum F \times FE_i \times Km_{médiaa} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

- F = número de veículos da frota;
- $km_{médiaa}$ = distância média percorrida no ano.

Para o cálculo foram utilizados os valores da frota circulante, presentes no quadro 7 e adotou-se como quilometragem média rodada em um ano o valor de 5110km, sendo 4 viagens ao dia com distância de 3,5 km cada viagem. Os fatores de emissão de cada gás (FE_i) utilizados nos cálculos são apresentados nos quadros 3, 4, 5 e 6.

Quadro 3 - Fatores Médios de Emissão de Veículos Leves Novos

Ano	Combustível	Fase Proconve	CO	HC			NOx	RCHO	CO ₂	Autonomia ²	MP
			(g/km)	Total (g/km)	NMHC (g/km)	CH ₄ ³ (g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(km/L)	(g/km)
2005	Gasolina C	L4	0,34	0,10	0,08	0,02	0,09	0,0040	192	11,3	0,0011
	Etanol		0,82	0,17	0,12	0,05	0,08	0,0160	160	8,6	nd
	Flex-Gasol.C		0,45	0,11	0,08	0,03	0,05	0,0030	188	11,5	0,0011
	Flex-Etanol		0,39	0,14	0,10	0,04	0,10	0,0140	180	7,7 ⁵	nd
2006	Gasolina C	L4	0,33	0,08	0,06	0,02	0,08	0,0020	192	11,3	0,0011
	Etanol		0,67	0,12	0,09	0,03	0,05	0,0140	200	6,9	nd
	Flex-Gasol.C		0,48	0,10	0,08	0,02	0,05	0,0030	185	11,7	0,0011
	Flex-Etanol		0,47	0,11	0,08	0,03	0,07	0,0140	177	7,8	nd
2007 ⁶	Gasolina C	L4	0,33	0,08	0,06	0,02	0,08	0,0020	192	11,3	0,0011
	Etanol ⁷		nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Flex-Gasol.C		0,48	0,10	0,08	0,02	0,05	0,0030	185	11,7	0,0011
	Flex-Etanol		0,47	0,11	0,08	0,03	0,07	0,0140	177	7,8	nd
2008	Gasolina C	L4	0,37	0,04	0,03	0,01	0,04	0,0014	223	9,74	0,0011
	Flex-Gasol.C		0,51	0,07	0,05	0,02	0,04	0,0020	185	11,7	0,0011
	Flex-Etanol		0,71	0,05	0,04	0,01	0,05	0,0152	187	7,38	nd
2009	Gasolina C	L5	0,24	0,03	0,023	0,007	0,02	0,0018	222	9,9	0,0011
	Flex-Gasol.C		0,32	0,04	0,034	0,006	0,03	0,0019	178	11,5	0,0011
	Flex-Etanol		0,53	0,07	0,044	0,026	0,03	0,0113	169	7,8	nd
2010	Gasolina C	L5	0,22	0,03	0,023	0,007	0,03	0,0015	208	10,4	0,0011
	Flex-Gasol.C		0,28	0,04	0,031	0,009	0,03	0,0015	177	12,2	0,0011
	Flex-Etanol		0,51	0,09	0,040	0,050	0,04	0,0093	171	8,3	nd
2011	Gasolina C	L5	0,26	0,04	0,027	0,013	0,03	0,0020	198	11,2	0,0011
	Flex-Gasol.C		0,28	0,04	0,032	0,008	0,03	0,0010	178	12,2	0,0011
	Flex-Etanol		0,49	0,09	0,048	0,042	0,03	0,0090	170	8,6	nd
2012	Gasolina C	L5	0,25	0,04	0,014	0,026	0,03	0,0017	195	11,3	0,0011
	Flex-Gasol.C		0,27	0,04	0,026	0,014	0,03	0,0014	180	12,2	0,0011
	Flex-Etanol		0,47	0,09	0,062	0,028	0,03	0,0082	173	8,5	nd

Fonte: CETESB (2013).

Quadro 4 - Fatores Médios de Emissão de Comerciais Leves Novos

Ano	Combustível	Fase Proconve	CO	HC			NOx	RCHO	CO ₂	MP	Autonomia ²
			(g/km)	Total (g/km)	NMHC (g/km)	CH ₄ ³ (g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(km/L)
2008	Diesel	L4	0,30	0,060	0,046	0,014	0,75	nd	nd	0,057	nd
2009	Gasolina C ⁴	L4	0,22	0,020	0,019	0,001	0,03	0,0014	231	0,0011	8,3
	Flex-Gasol.C		0,22	0,070	0,038	0,032	0,03	0,0014	224	0,0011	8,3
	Flex-Etanol		0,46	0,019	0,014	0,005	0,03	0,0113	208	nd	6,9
	Diesel		0,28	0,033	0,025	0,008	0,68	nd	269	0,060	9,5
2010	Gasolina C	L5	0,26	0,031	0,023	0,008	0,02	0,0016	246	0,0011	8,8
	Flex-Gasol.C		0,20	0,060	0,011	0,049	0,04	0,0010	266	0,0011	8,2
	Flex-Etanol		0,47	0,031	0,023	0,008	0,04	0,0073	245	nd	6,8
	Diesel	L4	0,21	0,070	0,050	0,020	0,72	nd	265	0,068	8,3
2011	Gasolina C	L5	0,30	0,030	0,024	0,006	0,02	0,0018	224	0,0011	9,9
	Flex-Gasol.C		0,23	0,040	0,029	0,011	0,03	0,0015	241	0,0011	9,0
	Flex-Etanol		0,68	0,090	0,037	0,053	0,02	0,0090	234	nd	6,3
	Diesel	L4	0,15	0,047	0,043	0,004	0,61	nd	263	0,052	9,8
2012	Gasolina C	L5	0,28	0,025	0,019	0,006	0,01	0,0019	222	0,0011	9,9
	Flex-Gasol.C		0,24	0,038	0,029	0,009	0,04	0,0024	243	0,0011	9,1
	Flex-Etanol		0,73	0,101	0,056	0,045	0,05	0,0103	238	nd	6,2
	Diesel		0,05	0,029	0,017	0,012	0,31	nd	254	0,020	10,5

Fonte: CETESB (2013).

Quadro 5 - Fatores de Emissão de Veículos Pesados com Motores do Ciclo Diesel em g/Km

Ano	Fase Proconve	Categoria		CO	HC	NOx	MP
				(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)
2010	P5	Caminhões	Semi-Leves	0,45	0,09	1,88	0,036
			Leves	0,52	0,10	3,14	0,051
			Médios	0,51	0,09	3,17	0,053
			Semi-Pesados	0,91	0,13	5,21	0,100
			Pesados	0,65	0,15	5,13	0,067
		Ônibus	Urbanos	1,43	0,23	6,38	0,115
			Rodoviários	0,65	0,19	5,31	0,085
		Comercial Leve		0,82	0,17	2,14	0,048
2011	P5	Caminhões	Semi-Leves	0,47	0,06	1,74	0,040
			Leves	0,52	0,09	3,10	0,050
			Médios	0,51	0,11	3,06	0,060
			Semi-Pesados	1,01	0,10	4,78	0,090
			Pesados	0,73	0,14	4,73	0,060
		Ônibus	Urbanos	1,20	0,15	6,31	0,110
			Rodoviários	0,62	0,20	5,49	0,070
		Comercial Leve		0,48	0,11	1,46	0,030
(2)	P6						
2012	P7	Caminhões	Semi-Leves	0,00	0,00	0,51	0,003
			Leves	0,12	0,02	0,77	0,007
			Médios	0,05	0,01	1,03	0,008
			Semi-Pesados	0,27	0,03	1,65	0,016
			Pesados	0,11	0,02	1,55	0,014
		Ônibus	Urbanos	0,35	0,03	1,65	0,016
			Rodoviários	0,30	0,03	1,57	0,017

Fonte: CETESB (2013).

Quadro 6 - Fatores Médio de Emissão de Motocicletas e Similares

Ano	Motor	Fase Proconve	Combustível	CO	HC	NOx	CO ₂	Autonomia
	(Cap.Vol.)			(g/Km)	(g/Km)	(g/Km)	(g/Km)	(km/l)
2003	<= 150 cc	M1	Gasolina	4,79	0,73	0,15	43	nd
	>150 e <=500 cc			7,30	1,17	0,17	82	nd
	>= 501 cc			3,57	0,11	0,11	163	nd
2004	<= 150 cc	M1	Gasolina	6,07	0,82	0,18	47	nd
	>150 e <=500 cc			7,30	1,17	0,17	82	nd
	>= 501 cc			3,67	0,69	0,12	172	nd
2005	<= 150 cc	M1	Gasolina	2,61	0,46	0,16	43	nd
	>150 e <=500 cc			3,14	0,59	0,14	82	nd
	>= 501 cc			1,73	0,40	0,13	145	nd
2006	<= 150 cc	M2	Gasolina	2,24	0,34	0,18	53	nd
	>150 e <=500 cc			1,75	0,38	0,16	65	nd
	>= 501 cc			1,23	0,21	0,05	201	nd
2007	<= 150 cc	M2	Gasolina	1,80	0,32	0,17	60	nd
	>150 e <=500 cc			2,00	0,37	0,15	77	nd
	>= 501 cc			1,32	0,22	0,10	158	nd
2008	<= 150 cc	M2	Gasolina	1,36	0,23	0,12	55	nd
	>150 e <=500 cc			1,72	0,29	0,15	74	nd
	>= 501 cc			1,25	0,19	0,07	132	nd
2009	<= 150 cc	M3	Gasolina	1,09	0,17	0,10	61	nd
	>150 e <=500 cc			1,07	0,12	0,11	87	nd
	>= 501 cc			1,02	0,15	0,11	143	nd
2010	<= 150 cc	M3	Gasolina	0,68	0,17	0,07	52	nd
	> 150 cc			1,14	0,12	0,09	79	nd
	<= 150 cc		Flex-Gasolina	0,75	0,15	0,05	51	nd
	<= 150 cc		Flex-Etanol	0,58	0,16	0,07	51	nd
2011	<= 150 cc	M3	Gasolina	0,61	0,20	0,08	56	38,5
	> 150 cc			1,03	0,11	0,09	71	27,2
	<= 150 cc		Flex-Gasolina	0,76	0,14	0,06	50	42,8
	<= 150 cc		Flex-Etanol	0,68	0,16	0,06	49	28,0
2012	<= 150 cc	M3	Gasolina	0,51	0,17	0,08	56	38,7
	> 150 cc			0,99	0,11	0,09	83	26,5
	<= 150 cc		Flex-Gasolina	0,74	0,14	0,04	50	43,2
	<= 150 cc		Flex-Etanol	0,90	0,16	0,04	47	29,3

Fonte: CETESB (2013).

Quadro 7 - Frota Circulante do Município de Ilha Solteira Separados por Combustível Utilizado

	Gasolina	Etanol	Flex	Diesel	Total
Automóveis	1942	189	2270	-	4401
Comercial Leve	275	16	266	138	695
Caminhões	-	-	-	127	127
Ônibus	-	-	-	41	41
Moto	2587	-	399	-	2986

Fonte: CETESB (2013).

5.4 ÁREA DE ESTUDO

Para a realização do estudo na cidade de Ilha Solteira – SP, a frota foi dividida em categorias e combustível utilizado em cada uma delas. Caminhões e ônibus foram segregados em subcategorias, como mostra o quadro 8.

Quadro 8 - Distribuição das Categorias de Veículos

Categorias	Motor/Combustível	Definição
Automóveis	Otto	Gasolina C
		Etanol Hidratado
		Flex Fuel
Veículos Comerciais Leves	Otto	Gasolina C
		Etanol Hidratado
		Flex Fuel
Motocicletas	Otto	Gasolina C
		Flex Fuel
		Veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car, dirigido em posição montada
Caminhões Semi-Leves (3,8 t < PBT < 6 t)	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria, e PBT superior a 3.856 kg
Caminhões Leves (6 t <= PBT < 10 t)		
Caminhões Médios (10 t <= PBT < 15 t)		
Caminhões Semi-Pesados (15 t <= PBT e PBTC < 40 t)		
Caminhões Pesados (15 t <= PBT e PBTC >= 40 t)		
Ônibus Urbanos	Diesel	Veículo automotor de transporte coletivo
Ônibus Rodoviários		

Fonte: CETESB (2013).

Para o cálculo, também é necessário conhecer a frota circulante do município (Quadro 9).

Quadro 9 - Frota Circulante por Município

Município	Automóvel	Comercial Leve	Caminhão	Ônibus	Moto	Total
ILHA BELA	3.659	1.164	178	62	3.444	8.506
ILHA COMPRIDA	1.010	261	76	36	740	2.123
ILHA SOLTEIRA	4.401	695	127	41	2.986	8.250
INDAIATUBA	59.311	11.571	1.871	373	23.458	96.584
INDIANA	712	129	77	7	297	1.221

Fonte: CETESB (2013).

Já o consumo de combustível é fornecido pelo quadro a seguir.

Quadro 10 - Consumo de Combustível por Município

Município	Gasolina Litros	Óleo Diesel Litros	GLP Quilos	Etanol Litros	Asfalto Quilos
Ilha Comprida	1.835.000	675.000	407.848	820.000	0
Ilha Solteira	6.748.760	17.179.000	605.822	4.781.000	233.590
Ilhabela	6.157.000	3.705.086	1.409.888	1.485.000	0

Fonte: CETESB (2013).

Para o cálculo das emissões de Dióxido de Carbono, através do método Top-Down, utiliza-se os fatores de emissão que estão padronizados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, conforme citado no item 5.2.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 EMISSÃO DE CO₂ EM ILHA SOLTEIRA – SP

As emissões do gás CO₂ foram calculadas através do equacionamento descrito no item 5.2.

- Gasolina

$$CC = 6748,760 \times 0,77 \times 45,2 \times 10^{-3} \times 0,95 = 223,14 \text{ TJ}$$

$$QC = 223,14 \times 18,9 \times 10^{-3} = 4,22 \text{ GgC}$$

$$ECO_{2gas} = 4,22 \times \frac{44}{12} = 15,47 \text{ GgC}$$

- Diesel

$$CC = 17179 \times 0,848 \times 45,2 \times 10^{-3} \times 0,95 = 625,54 \text{ TJ}$$

$$QC = 625,54 \times 20,2 \times 10^{-3} = 12,64 \text{ GgC}$$

$$ECO_{2die} = 12,64 \times \frac{44}{12} = 46,35 \text{ GgC}$$

- Etanol

$$CC = 4781 \times 0,51 \times 45,2 \times 10^{-3} \times 0,95 = 104,70 \text{ TJ}$$

$$QC = 104,70 \times 14,81 \times 10^{-3} = 1,55 \text{ GgC}$$

$$ECO_{2et} = 1,55 \times \frac{44}{12} = 5,68 \text{ GgC}$$

Em resumo, os valores de emissão de Dióxido de Carbono obtidos foram:

- $ECO_{2gas} = 15,47 \text{ GgC}$
- $ECO_{2die} = 46,35 \text{ GgC}$
- $ECO_{2etan} = 5,68 \text{ GgC}$
- $ECO_{2total} = 67,5 \text{ GgC}$

O alto consumo de óleo diesel reflete significativamente na emissão de dióxido de carbono na cidade. Isto se deve não só à frota registrada, mas também, à frota visitante, visto que a cidade fica localizada em um corredor de escoamento de produção e também a economia voltada ao agronegócio, grande consumidor desta fonte de combustível.

No caso do etanol, mesmo sendo altamente consumido, contribui muito pouco para emissão de CO₂ na atmosfera. Isto porque possui baixo peso molecular em relação aos outros tipos de combustíveis, tendo assim um baixo fator de emissão de carbono.

6.2 EMISSÃO DE CO e NO_x EM ILHA SOLTEIRA – SP

Através do Método Bottom-Up apresentado no item 5.3 foi calculado os valores de emissão do Monóxido de Carbono e de Óxidos Nitrosos que se acima dos valores padrões podem causar malefícios a saúde humana e ao meio ambiente.

- Emissão de CO:

$$Emiss_{CO} = (1942 \times 0,25 + 189 \times 0,47 + 2270 \times 0,34 + 275 \times 0,28 + 16 \times 0,73 + 266 \times 0,42 + 138 \times 0,05 + 127 \times 0,05 + 41 \times 0,35 + 2587 \times 0,51 + 399 \times 0,74) \times 5110 = 16294563,6 \frac{g}{ano} = 16,29 \frac{ton CO}{ano}$$

- Emissão de NO_x:

$$Emiss_{NO_x} = (1942 \times 0,03 + 189 \times 0,03 + 2270 \times 0,03 + 275 \times 0,01 + 16 \times 0,05 + 266 \times 0,04 + 138 \times 0,31 + 127 \times 1,03 + 41 \times 1,65 + 2587 \times 0,08 + 399 \times 0,04) \times 5110 = 3119041,8 \frac{g}{ano} = 3,12 \frac{ton NO_x}{ano}$$

Temos então:

- Emiss_{CO} = 16,29 t/ano.
- Emiss_{NO_x} = 3,12 t/ano.

O monóxido de carbono é um produto por combustão incompleta de combustíveis como o gás natural, carvão ou madeira. Na presença de um suprimento adequado de O_2 mais monóxido de carbono produzido durante a combustão é imediatamente oxidado a dióxido de carbono (CO_2). Os maiores níveis de CO geralmente ocorrem em áreas com tráfego intenso congestionado. Nas cidades, 85 a 95 por cento de todas as emissões de CO geralmente são provenientes do escape dos veículos a motor. Outras fontes de emissões de CO incluem processos industriais, queima residencial de madeira para aquecimento, ou fontes naturais, como incêndios florestais. Os fogões a gás e os fumos de cigarro são as principais fontes de emissões de CO em espaços interiores.

Sendo $4,2Km^2$ a área urbanizada de Ilha Solteira, temos uma taxa de $3,87tCO/Km^2.ano$. Já a região metropolitana de São Paulo possui uma área urbanizada de $8500,1 km^2$ e uma taxa de $15,01tCO/Km^2.ano$ (valor encontrado utilizando a equação (5) e os fatores de emissão (FE_i) para a região metropolitana de São Paulo) . Temos então que Ilha Solteira possui uma taxa 3,86 vezes menor que a região da cidade de São Paulo, porém sua área urbanizada é 2024 vezes menor.

Quanto aos Óxidos de Nitrogênio, em especial o Dióxido de Nitrogênio (NO_2), tem sua emissão originada a partir de combustões a altas temperaturas e dos veículos do setor rodoviário. É um forte oxidante que reage no ar para formar corrosivo ácido nítrico, bem como a nitratos orgânicos tóxicos. Também desempenha um papel importante na atmosfera com reações que produzem ozônio ao nível do solo ou smog – nevoeiro contaminado por fumaça. Uma vez que o dióxido de nitrogênio é um poluente relacionado com o tráfego, as emissões são geralmente mais elevadas nas zonas urbanas. A média anual das concentrações de dióxido de nitrogênio em áreas urbanas está geralmente no intervalo 10-45 ppb, e menor nas zonas rurais. Os níveis variam consideravelmente ao longo do dia, com picos ocorrendo geralmente duas vezes por dia como uma consequência da hora de ponta do tráfego. As concentrações podem ser tão elevados como 200 ppb.

Fazendo a mesma comparação que o Monóxido de Carbono, temos que a cidade de Ilha Solteira possui uma taxa 8 vezes menor que a região metropolitana de São Paulo.

7 ANÁLISE AMBIENTAL

7.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Podemos notar, com os dados mostrados anteriormente, que as emissões do setor de transporte, mesmo em cidades de pequeno porte como é o caso de Ilha Solteira – SP são muito significantes. Os gases analisados nesse estudo não prejudicam somente o meio ambiente, como também a saúde humana.

O CO é inodoro, incolor e apresenta forte afinidade com a hemoglobina e, quando combinado com a mesma, a capacidade de oxigenação dos tecidos pelo sangue diminui drasticamente. Produz efeitos nos sistemas nervoso central, cardiovascular, pulmonar e outros. A poluição por CO é encontrada sempre em altos níveis nas áreas de intensa circulação de veículos nos centros urbanos. A ameaça à saúde devido à exposição ao CO é mais séria para aqueles indivíduos que já sofrem de doenças cardiovasculares. O alto nível de exposição ao CO ocasiona irritação nos olhos, redução da capacidade de trabalho, redução de destreza manual e dificuldade em realizar tarefas complexas.

Já o dióxido de carbono não é diretamente associado com os efeitos nocivos à saúde humana, uma vez que o CO₂, juntamente com a água, é um produto da respiração. Todavia, este é um dos gases responsáveis pela intensificação do efeito estufa, devido à sua capacidade de absorção de radiação infravermelha. O problema está no desequilíbrio do ciclo do carbono na natureza, onde está sendo liberado na atmosfera mais CO₂ do que o meio-ambiente é capaz de absorver.

7.2 EFEITO ESTUFA

O matemático francês Jean-Baptiste Fourier foi quem primeiramente observou o efeito estufa, em 1827. Ele comparou a cobertura de gases da atmosfera com os vidros de uma estufa de plantas e sugeriu que esse efeito (estufa) mantinha a Terra mais quente do que seria normalmente sem ele. Fourier também sugeriu que o clima natural poderia ser modificado pelas atividades humanas. Em 1860, John Tyndall foi o cientista seguinte a discutir o assunto. Ele mediu a absorção de radiação

infravermelha pelo dióxido de carbono (CO_2) e vapor d'água (H_2O) e a influência destes gases sobre o efeito estufa. Em 1896, o passo seguinte foi dado pelo químico Svante Arrhenius, que publicou um estudo relacionando o efeito na temperatura média global com a duplicação na concentração natural de dióxido de carbono no ar (GRIBBIN, 1990 apud WILLS, 2008).

A presença do Dióxido de Carbono vem aumentando na atmosfera de forma acentuada nesses dois últimos séculos, sendo capaz de intensificar o efeito estufa e de modificar as condições climáticas do planeta. Este aumento da concentração de dióxido de carbono ocorre simultaneamente com o aumento da emissão de outros gases provenientes de atividades humanas.

Na verdade, o efeito estufa atua na atmosfera da Terra há bilhões de anos devido a gases que ocorrem naturalmente. No entanto, este efeito pode ser intensificado. Qualquer fator que altere a radiação recebida do sol ou a radiação enviada de volta para o espaço, ou que altere a redistribuição da energia dentro da atmosfera e entre a atmosfera, a terra e os oceanos, pode afetar o clima. A eficiência com que a Terra se resfria é reduzida pelo aumento das concentrações de gases de efeito estufa. O aquecimento depende do aumento da concentração de cada gás de efeito estufa, das propriedades radiativas dos gases envolvidos e das concentrações de outros gases de efeito estufa já presentes na atmosfera (WILLS, 2008).

Dessa forma, deve-se implementar medidas que visam reduzir o consumo de combustíveis fósseis, visando a diminuição da poluição atmosférica local, regional e global (efeito estufa).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sociedade moderna considera o transporte uma necessidade. Os sistemas de transportes desempenham um papel fundamental em relação ao cotidiano das pessoas, e conseqüentemente em relação ao seu comportamento. O transporte de bens e pessoas é essencial para a grande maioria das atividades econômicas.

As melhorias no sistema de transporte aumentam a mobilidade e a acessibilidade de uma população, isto é inegável, mas podem afetar a sua qualidade de vida. O tráfego de veículos pode provocar congestionamentos, problemas de saúde, acidentes, e mudanças no uso e ocupação do solo. Somando-se a isso, os poluentes provenientes desses veículos causam alterações ambientais tais como a poluição do ar local, regional e contribuem para um grande impacto ambiental, o aumento do efeito estufa.

9 CONCLUSÕES

Como podemos observar com os dados obtidos, até cidades de pequeno porte como é o caso de Ilha Solteira – SP podem contribuir significativamente para a emissão de gases nocivos a saúde humana e ao meio ambiente.

Ainda que os fatores de emissão dos veículos novos estejam decrescendo, o aumento da frota de veículos e o congestionamento das vias como ocorre na Avenida Brasil acaba comprometendo a redução de emissão de gases.

Com os resultados obtidos observamos que o diesel é o grande responsável pelo alto nível de emissão de gás carbônico na cidade de Ilha Solteira. Porém o valor real da emissão de dióxido de carbono pode ser ainda maior, considerando que para os cálculos foi utilizada apenas a frota emplacada na cidade, o que não considera os temporários e nem a frota fixa emplacada fora. Como a cidade e a região tem a economia voltada para o agronegócio, a frota de caminhões é constante na cidade. Isso faz com que pensemos em medidas para um controle do tráfego de caminhões na cidade, para assim tentar reduzir a emissão de dióxido de carbono.

Como métodos teóricos, o Top Down e o Bottom Up não se mostram satisfatórios para fim de comparação entre os resultados obtidos e os níveis padrões de qualidade do ar. Porém, podemos comparar os resultados com valores de uma região poluída, como é o caso da cidade de São Paulo e observar que os resultados obtidos mostram que pela área da cidade de Ilha Solteira, a emissão de gases na cidade está acima do desejável. Os métodos utilizados no estudo também não consideram os Fatores Determinantes na Emissão Veicular citados no item 3.3, consideram apenas o tipo de combustível utilizado, o que talvez nos conduza a valores não muito reais.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. R. P.; CARVALHO, J. C.; SANTANA, E. R. R. **Modelagem da concentração de poluentes emitidos por veículos na Região Metropolitana de Porto Alegre**. Porto Alegre: Faculdade Meteorologia, 2009. 5 p.

ARAÚJO, M. R. M. et al. **Transporte público coletivo: discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida**. Aracaju: Universidade Federal de Sergipe, 2010. 9 p.

CARVALHO, C. H. R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2011. 43 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Ficha de intoxicação toxicológica: monóxido de carbono**. São Paulo: [s.n.], 2012. 2 p.

Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/monoxido_de_carbono.pdf>

Acesso em: 20 jun 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório emissões veiculares no Estado de São Paulo 2012**. São Paulo: [s.n.], 2013. 110 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/ar/emissoes/relatorio-2012.pdf>> Acesso em: 14 jun 2014.

COSTA, N. M. S. M. **Mobilidade e transporte em áreas urbanas: o caso da área metropolitana de Lisboa**. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2007. 607 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO - DENATRAN. **Anuário: frota**. São Paulo: [s.n.], 2013. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 8 de maio de 2014.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2. ed. São Paulo: Signus, 2000. 166 p.

LINKE, R. R. A.; ALVARES JUNIOR, O. M. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 2002. 12 p. Disponível em:

<http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/gases_efeito_estufa.pdf>. Acesso em: 15 jun 2014.

LOCH, E.; HENKES, J. A. Alternativas para reduzir a poluição gerada por automóveis a partir do uso de energias renováveis. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 3, n. 1, p. 565 – 583, abril, 2014.

Disponível em:

<http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/2218/1598>. Acesso em: 15 jun 2014.

LOIOLA, B. R. et al. Análise das emissões de poluentes de motores flex na saída do escapamento de automóveis. **Revista Ciências do Ambiente**, Campinas, v. 7, n. 1, 6 p, julho, 2011. Disponível em: <<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/index.php/be310/article/viewFile/276/212>>. Acesso em 18 jun 2014.

MATTOS, L. B. R. **A importância do setor de transporte na emissão de gases do efeito estufa: o caso do Município do Rio de Janeiro**. 2001. 222 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2001.

MONTEIRO, A. G. **Estratégia de redução de emissões de poluentes no setor de transportes por meio de substituição modal na Região Metropolitana de São Paulo**. 1998. 175 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 1998.

RIBEIRO, S. K.; MATTOS, L. B. R. **A importância do setor de transporte rodoviário no aquecimento global: o caso da cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2001. 9 p.

SCHULZ, D. **Ciclo de Otto**. Canoas: Instituto de Física, 2009. 2 p. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_otto.htm>. Acesso em: 10 jun 2014.

SOUZA, V. et al. **Manutenção preditiva em frotas cativas com motorização diesel, realizada a partir das emissões gasosas e análise do óleo lubrificante**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, 2010. 8 p.

SZWARCFITER, L. **Opções para o aprimoramento do controle de emissões de poluentes atmosféricos por veículos leves no Brasil: uma avaliação do potencial de programas de inspeção e manutenção e de renovação acelerada da frota**. 2004. 261 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

TACO, G. B. G. **Desenvolvimento de uma metodologia para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores nas áreas urbanas**. 2006. 156 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2006.

TEIXEIRA, E. C.; FELTES, S.; SANTANA, E. R. R. Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre – RS. **Revista Química Nova**, Porto Alegre, v. 31, n. 2, p. 244 – 248, agosto, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000200010>. Acesso em: 18 jun 2014.

WILLS, W. **O aumento da eficiência energética nos veículos leves e suas implicações nas emissões de gases de efeito estufa: cenários brasileiros entre**

2000 e 2030. 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

ZANOLLI, P. R. **Dimensionamento do estacionamento ao longo da Avenida Brasil na cidade de Ilha Solteira – SP**. 2013. 133 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2013.