

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JOÃO VICTOR ABREU DE LIMA

**INVENTÁRIO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS VEICULARES DOS ESTADOS
BRASILEIROS**

**Caçapava do Sul
2017**

JOÃO VICTOR ABREU DE LIMA

**INVENTÁRIO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS VEICULARES DOS ESTADOS
BRASILEIROS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária da Universidade
Federal do Pampa, como requisito parcial
para obtenção do Título de Engenheiro
Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Me. Mateus Guimarães
da Silva

**Caçapava do Sul
2017**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo autor através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão
Unificada de Recursos Institucionais).

L732 Lima, João Victor Abreu
Inventário dos Poluentes Atmosféricos Veiculares dos
Estados Brasileiros / João Victor Abreu Lima.
68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2017.
"Orientação: Mateus Guimarães da Silva".

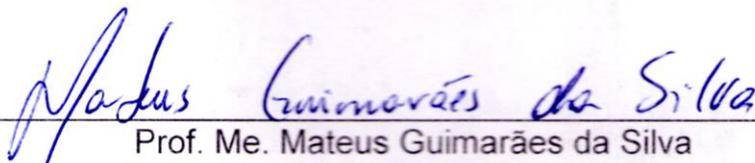
1. Poluição Atmosférica. 2. Estimativa de Emissões. 3.
Mudanças Climáticas. I. Título.

INVENTÁRIO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS VEICULARES DOS ESTADOS BRASILEIROS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27/11/2017.

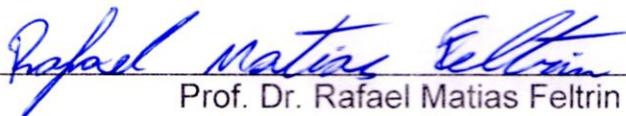
Banca examinadora:



Prof. Me. Mateus Guimarães da Silva
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich
UNIPAMPA



Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin
UNIPAMPA

Talvez a razão pela qual todas as portas estavam fechadas, era para você poder abrir uma que te levasse para a estrada perfeita.

- Katherine Hudson

Dedico este trabalho ao meu pai, João Otalicio Camargo de Lima, que tinha o sonho de ver os filhos formados, e deve estar muito feliz com este momento da minha vida.

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus, que me destes uma vida abençoada, e que está comigo e fazendo o melhor por mim em todos os momentos.

À minha mãe, Ione Raquel Falcão de Abreu, pela dedicação e amor para comigo durante toda a minha vida, te amo.

Ao meu padrasto, Renato Hopf Goerch, por suprir o papel de pai e por ter abraçado a mim e toda minha família como sua.

A minha família e amigos, em especial a aqueles seletos que me aconselharam nos momentos de aflição, e vibraram nos momentos de alegria.

A todos os meus colegas de faculdade, com quem partilhei das mesmas angústias durante esta jornada acadêmica, principalmente às que estiveram comigo do princípio ao fim, Júlia, Luana, Maura e Mayara, sem vocês não estaria hoje concluindo a minha graduação.

Ao Prof. Me. Mateus Guimarães da Silva pela orientação, apoio e incentivo que me destes durante a realização do meu trabalho de conclusão de curso.

À banca avaliadora, por ter aceitado fazer parte deste trabalho, e contribuído para o engrandecimento do mesmo.

Aos professores, por todos os ensinamentos que me foram transmitidos, me fazendo assim ser o profissional que sou hoje.

A Universidade Federal do Pampa, pela oportunidade.

RESUMO

O crescimento da urbanização, a falta de investimento em transportes públicos, a necessidade de se locomover mais rápido e os incentivos à produção e consumo de veículos no país, tem influenciado o aumento significativo do uso de automóveis. O inventário de emissões de poluentes atmosféricos são ferramentas estratégicas de gestão ambiental que estimam as emissões por fontes específicas em área geográfica e intervalo de tempo determinado. O desenvolvimento do inventário é a etapa inicial para a implantação de programas voltados ao melhoramento da qualidade do ar, pois constata as diferentes fontes contribuintes, identificam os principais poluentes emitidos em uma área, e possibilitam estimar os efeitos das emissões atmosféricas na qualidade do ar. O trabalho objetiva apresentar estimativas das emissões de poluentes atmosféricos veiculares dos estados brasileiros, compreendendo gases de efeito estufa (N_2O , CH_4 e CO_2) e gases de efeito local (CO , HC , NO_x e MP) oriundos de fontes veiculares leves e pesados, da frota circulante do ano de 2016. Há vários parâmetros que influenciam a quantidade e composição dessas emissões como modelo do veículo, ano de fabricação, frota circulante, potência do motor, tipo de manutenção dada, condições de utilização, quilometragem rodada, entre outros. Desta forma, foi necessário obter informações detalhadas das entidades reguladoras para possibilitar o desenvolvimento do inventário das emissões. Os resultados indicam que a quantidade de emissão de gases produzidos pelos veículos do país é maior nas regiões sudeste e sul, devido ao tamanho da sua frota. Também se confirmou que a substituição dos combustíveis convencionais pelos renováveis, assim como a implementação dos carros híbridos, pode acarretar na redução da emissão dos gases de efeito local e global. Portanto, mesmo hoje sendo financeiramente mais caro, o país precisa ter uma visão mais sustentável, pois estas substituições poderão trazer benefícios para o planeta.

Palavras-chave: mudanças climáticas, fatores de emissões, frota veicular brasileira.

ABSTRACT

The growth of urbanization, the lack of investment in public transport, the need to move faster and the incentives for vehicle production and consumption in the country, have influenced the significant increase in the use of automobiles. The inventory of emissions of atmospheric pollutants are strategic environmental management tools that measure emissions by specific sources in geographic area and determined interval of time. The development of the inventory is the initial stage for the implementation of programs aimed at improving air quality, as they verify the different sources of pollutants, identify the main pollutants emitted in an area, and make it possible to estimate the effects of atmospheric emissions on air quality. The objective of this work is to present estimates of emissions of vehicular air pollutants from Brazilian states, including greenhouse gases (N_2O , CH_4 and CO_2) and local effect gases (CO , HC , NO_x and PM) from light and heavy vehicular sources, of fleet circulating of the year 2016. There are several parameters that influence the quantity and composition of these emissions as vehicle model, year of manufacture, current fleet, engine power, type of maintenance given, conditions of use, round mileage, among others. In this way, it was necessary to obtain detailed information from the regulatory authorities to enable the development of the emissions inventory.

The results indicate that the amount of gas produced by the country's vehicles is higher in the Southeast and South regions due to the size of its fleet. It was also confirmed that the substitution of conventional fuels for renewables, as well as the implementation of hybrid cars, can lead to a reduction in the emission of local and global effect gases. Therefore, even now being more financially expensive, the country needs to have a more sustainable vision, as these substitutions can bring benefits to the planet.

Keywords: climatic changes, emission factors, Brazilian vehicle fleet.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.	29
Tabela 2 - Poluentes atmosféricos e suas fontes potenciais de emissão.	34
Tabela 3 - Fatores de emissão do CO ₂ (g/Km).	54
Tabela 4 - Fatores de Emissão do N ₂ O (g/Km).....	55
Tabela 5 - Fatores de Emissão do CH ₄ (g/Km).	55
Tabela 6 - Fatores de Emissão CO (g/Km)	56
Tabela 7 - Fatores de Emissão do HC (g/Km).....	58
Tabela 8 - Fatores de Emissão do NO _x (g/Km).	59
Tabela 9 - Fatores de Emissão do MP (g/Km).	60
Tabela 10 - Frota Circulante do Estado do Rio Grande do Sul, por tipo de veículos e ano de fabricação.....	60
Tabela 11 - Distância Média Percorrida (Km/ano).....	62
Tabela 12 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a diesel da região centro-oeste no ano de 2016 (g).	63
Tabela 13 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a diesel da região nordeste no ano de 2016 (g).	63
Tabela 14 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a diesel da região norte no ano de 2016 (g).	64
Tabela 15 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a diesel da região sudeste no ano de 2016 (g).....	64
Tabela 16 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a diesel da região sul no ano de 2016 (g).....	65

Tabela 17 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a gasolina da região centro-oeste no ano de 2016 (g).....	65
Tabela 18 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos à gasolina da região nordeste no ano de 2016 (g).....	65
Tabela 19 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos à gasolina da região norte no ano de 2016 (g).	66
Tabela 20 - Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a gasolina da região sudeste no ano de 2016 (g).....	66
Tabela 21 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos à gasolina da região sul no ano de 2016 (g).	66
Tabela 22 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a etanol da região centro-oeste no ano de 2016 (g).....	67
Tabela 23 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a etanol da região nordeste no ano de 2016 (g).....	67
Tabela 24 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a etanol da região norte no ano de 2016 (g).	67
Tabela 25 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a etanol da região sudeste no ano de 2016 (g).....	68
Tabela 26 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a etanol da região sul no ano de 2016 (g).....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desproporção entre o crescimento da população e da frota de automóveis, no Brasil, e no estado do Rio Grande do Sul nos anos de 2010 a 2016.	14
Figura 2 - Camadas da Atmosfera.	16
Figura 3 - Emissões de CO ₂ de Combustíveis Fósseis no Brasil.	26
Figura 4 – Emissão dos gases de veículos movidos à gasolina e/ou etanol do país e pela frota movida unicamente por etanol (g).	42
Figura 5 - Emissão dos gases de efeito estufa dos veículos movidos a diesel do país e pela frota movida a biodiesel (g).	43
Figura 6 - Emissão dos gases de efeito estufa da frota atual de veículos do país e pela frota de carros híbridos (g).	44
Figura 7– Emissão de CO ₂ equivalente pelos veículos automotores no ano de 2016 por estados do Brasil (kg).	45
Figura 8 – Comparação entre os cenários das emissões de CO ₂ equivalente no ano de 2016 no Brasil (kg).	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.2 Justificativa	14
1.3 Objetivos	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Camadas da atmosfera	16
2.2 Poluição atmosférica	17
2.3 Poluentes atmosféricos de efeito regional	18
2.3.1 <i>Dióxido de enxofre (SO₂).....</i>	20
2.3.2 <i>Monóxido de carbono (CO).....</i>	20
2.3.3 <i>Monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂).....</i>	21
2.3.4 <i>Oxidantes fotoquímicos e Ozônio (O₃).....</i>	21
2.3.5 <i>Hidrocarbonetos (HC).....</i>	22
2.3.6 <i>Material Particulado (MP)</i>	22
2.4. Poluentes de efeito global - GEE	22
2.4.1 <i>Dióxido de Carbono (CO₂).....</i>	24
2.4.2 <i>Metano (CH₄).....</i>	24
2.4.3 <i>Óxido Nitroso (N₂O).....</i>	25
2.5 Emissões de gases por veículo automotor	25
2.6 Combustíveis.....	27
2.6.1 <i>Gasolina.....</i>	27
2.6.2 <i>Etanol.....</i>	27
2.6.3 <i>Diesel.....</i>	28
2.7 Padrão nacional de qualidade do ar	29
2.8 Fontes alternativas de combustíveis no Brasil	30
2.9 Avanços tecnológicos dos motores.....	31
2.10 Inventário de emissões atmosféricas	32

2.10.1 Tipo de estimativa de emissões	33
3 METODOLOGIA.....	35
3.1 Método de estimativa e fatores de emissões dos gases	35
3.1.1 Fatores de emissão.....	36
3.1.1.1 Fatores de emissão para Gases de Efeito Estufa.....	36
3.1.1.2 Fatores de emissão para Gases de Efeito Local	37
3.1.2 Frotas circulantes estaduais.....	37
3.1.3 Distância média percorrida.....	37
3.4 Etanol.....	38
3.5 Biodiesel.....	38
3.6 Veículos Híbridos	38
3.7 Cálculo de CO₂ equivalente	39
4 RESULTADOS	40
4.1 Diesel	40
4.2 Gasolina	40
4.3 Etanol.....	41
4.4 Substituição da Gasolina pelo Etanol.....	41
4.5 Substituição do Diesel pelo Biodiesel.....	42
4.6 Substituição da Frota Atual pelos Veículos Híbridos.....	43
4.7 CO ₂ Equivalente.....	44
5 CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS	47
ANEXOS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A atmosfera desempenha uma função indispensável para a retenção de calor e preservação da vida no planeta Terra devido a um fenômeno natural conhecido como efeito estufa, responsável por manter a temperatura média terrestre em torno dos 15°C. O efeito estufa nada mais é que um fenômeno em que a radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre é retida na atmosfera por substâncias gasosas chamadas de gases de efeito estufa (GEE), sendo que os principais são: gás carbônico (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) (IPCC, 2007).

O efeito mais significativo na atmosfera terrestre é a sua capacidade de condicionar a temperatura da Terra em números superiores do que seria sem a sua existência. Se não houvesse esse fenômeno, a superfície do planeta seria muito mais fria (cerca de -17°C) e não haveria a existência de água líquida e, desta forma, o desenvolvimento da vida não seria como a que conhecemos (MENDONÇA; DANNI-OLIVERA, 2007).

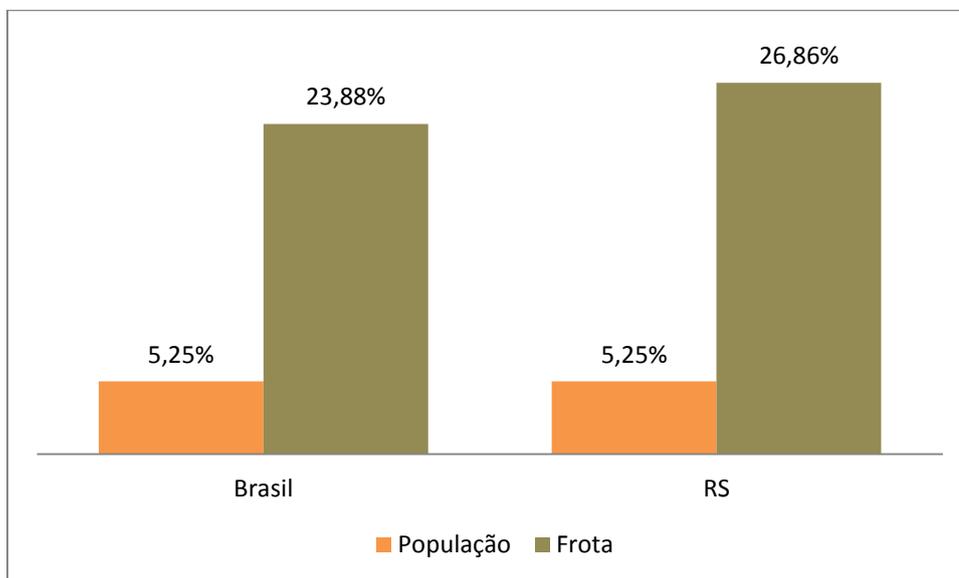
A maioria das doenças respiratórias ocorre devido a gases de efeito local, como o monóxido de carbono, o dióxido de enxofre e algumas substâncias organocloradas (MANZOLI, 2009). A saúde humana sofre vários efeitos provenientes da poluição atmosférica, podendo ocorrer doenças agudas e crônicas, assim como, mudanças importantes nas funções do sistema nervoso e fisiológico do corpo humano. Além de que, danos menores também podem ser constatados, tais como odor, desconforto e a redução da visibilidade (LORA, 2000).

Apesar de ainda existir argumentos contrários em relação do quão grave é o problema do aquecimento global, existem pelo menos três fatos que são apontados pelos cientistas: Primeiro, as pesquisas mostram que o planeta aqueceu cerca de 0,5°C nos últimos 50 anos (IPCC, 2007). Segundo, a urbanização está crescendo, assim como a quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera. Se esta tendência se mantiver, em meados do século XXI, a concentração de gás carbônico poderá chegar ao dobro do que era no início deste século. No Brasil, 79,6% da emissão de gases do efeito estufa provêm do uso da terra, desmatamento, agricultura e pecuária, 6,1% do setor de Transportes e 3,6% de processos indústrias (CETESB, 2012). Em terceiro lugar, o entendimento do mecanismo básico do efeito estufa é simples e suficiente para que não existam dúvidas que o constante aumento da

concentração de GEE poderia levar ao aquecimento da Terra (BORSARI; ASSUNÇÃO, 2006).

Com o crescimento da urbanização, a falta de investimento em transportes público, os incentivos fiscais à produção de veículos têm influenciado no aumento significativo na frota veicular do país (Figura 1). Portanto, os veículos automotores tornaram-se um grave problema para a poluição do ar. Assim é de grande importância estudos para medidas de controle, procurando melhorar o conhecimento sobre as grandes fontes emissoras de poluentes.

Figura 1 - Desproporção entre o crescimento da população e da frota de automóveis, no Brasil, e no estado do Rio Grande do Sul nos anos de 2010 a 2016.



Fonte: IBGE (2016).

Os inventários de emissões de poluentes atmosféricos são ferramentas estratégicas de gestão ambiental que possui a finalidade de identificar, quantificar e qualificar emissões por fontes específicas em uma determinada área geográfica e intervalo de tempo, admitindo assim o desenvolvimento de planos estratégicos para o gerenciamento de qualidade ambiental e controle de emissões.

1.2 Justificativa

Sabe-se que a poluição atmosférica é responsável por causar sérios danos à saúde humana, ao ecossistema e por provocar mudanças climáticas no planeta. O inventário de emissões é uma ferramenta que pode auxiliar do desenvolvimento de

ações para reduzir as emissões. Ao concluir o inventário proposto neste trabalho, espera-se que seja possível identificar e avaliar criteriosamente as principais fontes e os agentes responsáveis pela poluição a nível local, e global, e desta forma analisar e propor alternativas para mitigação por meio da substituição de combustíveis e de tecnologia da veicular.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver o inventário dos poluentes atmosféricos provenientes de fontes móveis, no setor automobilístico, na categoria de veículos leves e pesados, no Brasil, tendo os seguintes objetivos específicos:

- Estimar as emissões dos gases de efeito estufa - dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O);
- Estimar as emissões de gases de efeito local - CO, NO_x , HC (COVs), SO_2 e MP;
- Identificar as regiões mais críticas do país;
- Avaliar o impacto da poluição atmosférica veicular pela substituição da gasolina pelo etanol;
- Avaliar o impacto da poluição atmosférica veicular pela substituição do óleo diesel pelo biodiesel;
- Avaliar o impacto da poluição atmosférica veicular pela substituição da frota atual por veículos híbridos.

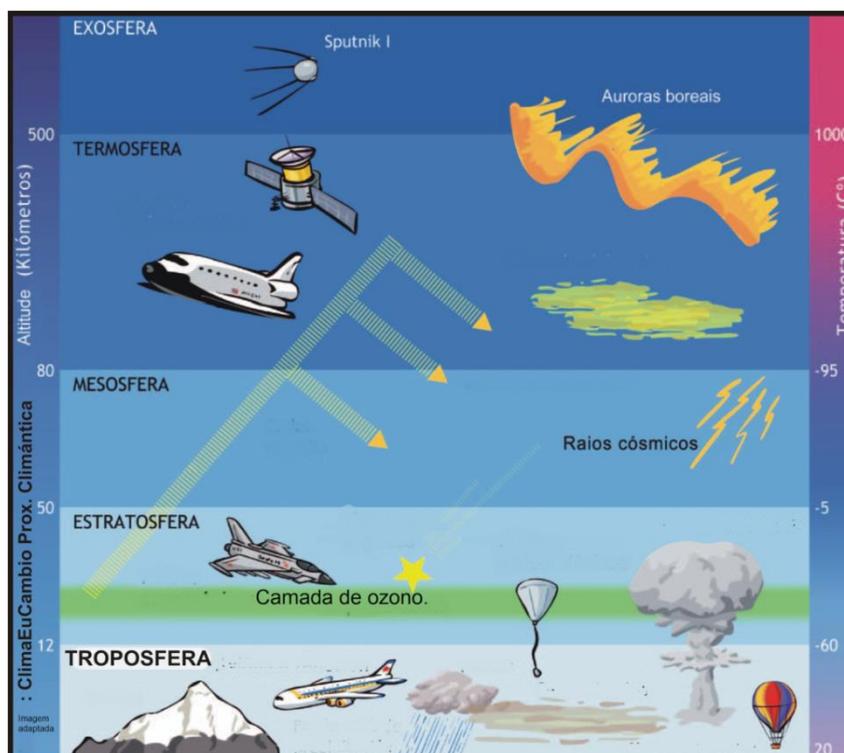
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Camadas da atmosfera

A atmosfera terrestre é uma combinação de gases, inodoro e incolor, dividida em cinco regiões, a exosfera, termosfera, mesosfera, estratosfera e troposfera. Gerada por uma camada de gases com 750 e 1000 km de espessura que envolve a superfície terrestre, onde a gravidade é a força exercida pela Terra que mantém ao redor do planeta (BOLIGIAN, 2004).

A atmosfera da Terra é atualmente composta, aproximadamente, de 78% de nitrogênio (N_2); 21% de oxigênio (O_2); 0,9% de argônio; 0,03% de dióxido de carbono (CO_2) e vapor d'água. Dentre esses componentes, o vapor d'água e o dióxido de carbono, além dos gases de menor concentração na atmosfera, como o óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4), colaboram de maneira bastante significativa para o fenômeno do efeito estufa que tem preservado a temperatura média global em torno de 15° Celsius (SUGUIO, 2008). A concentração dos gases atmosféricos, contudo, muda de acordo com a altitude, assim gerando as distintas camadas da atmosfera como estão exemplificadas na Figura 2.

Figura 2 - Camadas da Atmosfera.



Fonte: Conceição (2012)

Conforme Boligian (2004), as camadas da atmosfera mostradas na Figura 2 são as seguintes:

- **Troposfera:** É a região da atmosfera mais baixa que se eleva até cerca de 15 quilômetros de altitude, onde ocorre grande parte dos fenômenos meteorológicos, assim como as precipitações, os ventos, as tempestades, as chuvas de granizo ou neve e a formação de geadas. A ocorrência destes fenômenos influencia imediatamente no cotidiano dos animais, seres humanos e atividades econômicas.
- **Estratosfera:** Cerca de 50 quilômetros de altitude acima da troposfera, é onde está localizada a camada de gás ozônio (O_3), em que os raios ultravioletas irradiados pelo sol são filtrados. Essa camada possui em torno de 22 quilômetros.
- **Mesosfera:** Vai da estratosfera se estendendo aproximadamente 80 quilômetros é a camada com as mais baixas temperaturas.
- **Termosfera:** Vai até cerca de 500 quilômetros de altitude depois da mesosfera, é uma região essencial para as comunicações, refletem determinados tipos de ondas de rádio, pois contém grande quantidade de gases ionizados.
- **Exosfera:** a última região atmosférica se alonga da termosfera até o espaço externo, é a parte em que os satélites se posicionam.

2.2 Poluição atmosférica

A poluição ou contaminação do ar ocorre quando gases ou partículas são lançados para atmosfera pela ação do homem até atingirem concentrações elevadas que podem acarretar irregularidades diretas ou indiretas para plantas, animais, seres vivos, ecossistemas, estruturas ou obras de arte (JACOBSON, 2002).

Os poluentes são agentes que causam a poluição atmosférica, por exemplo, resíduos ou agentes químicos que contaminam o ar, causando modificações ambientais e assim atingindo a qualidade de vida (VESENTINI, 2003).

A disseminação de um poluente na atmosfera depende primeiramente das condições meteorológicas e dos parâmetros e circunstâncias que produzem essa emissão na origem, isto é, concentração, vazão, velocidade, e temperatura dos gases (VIEIRA, 2009).

Os poluentes dispersos na atmosfera podem ser originados de fontes naturais ou antropológicas, estacionárias (processos industriais), ou móveis (veículos motorizados), conforme descrição (VITERBO JUNIOR, 1998):

- **Origem natural:** Ocasionalmente por agentes de ordem natural, como tempestades e gases, poeiras e nevoeiros provenientes dos vulcões. São raramente recordados quando o assunto é poluição atmosférica.
- **Origem antropológica:** Causados pelo ser humano, como na utilização de veículos automotores ou em processos industriais.
- **Processos Industriais:** São os focos poluidores principais, tanto em gases emitidos pelas chaminés de fábricas, como pelo material particulado ou vapores d'água.
- **Veículos motorizados:** Os maiores causadores de poluição atmosférica nas regiões metropolitanas, responsáveis pelas emissões de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, aldeídos e material particulado, entre outros poluentes lançados na atmosfera.

A frota de veículos tem crescido desproporcionalmente. Em 1950, havia no mundo cerca de 70 milhões de veículos automotores. Esse número cresceu nove vezes em 44 anos, chegando à marca de 630 milhões de automóveis em 1994 (MENDES e TAMDJIAN, 2005). Em 2010, a frota de veículos ultrapassou no mundo a faixa de um bilhão de unidades. Essas estatísticas remetem ao número aproximado de carros, caminhões médios, pesados, motocicletas e ônibus registrados ao redor do mundo, sem incluir os veículos *off-road*, que compreende veículos utilizados para esportes, tratores agrícolas, máquinas pesadas para movimentação de sólidos, entre outros veículos desta categoria (WARDSAUTO, 2011).

2.3 Poluentes atmosféricos de efeito regional

Quaisquer fatores que possuam efeitos prejudiciais aos seres vivos ou ao seu meio ambiente são intitulados como poluentes. (ZILBERMAN, 1997). A Resolução CONAMA nº 003 de 22 de agosto de 1990, no parágrafo único do seu artigo 1º, trás uma definição para poluentes atmosféricos como sendo:

[...] qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I – impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II – inconveniente ao bem-estar público;

III – danoso aos materiais, à fauna e flora;

IV – prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CONAMA, 1990a, p. 1).

De acordo com Vieira (2009), é instável a massa de poluentes na atmosfera, física e quimicamente, e as reações que acontecem no ar são dependentes das concentrações dos poluentes e das variantes meteorológicas que ordenam menor ou maior concentração de poluentes.

Conforme Torres, Rocha e Ribeiro (2008), os poluentes podem ser classificados como poluentes primários e secundários:

- **Poluentes Primários:** são aqueles expelidos diretamente das fontes emissoras e continuam no ar na forma que são emitidos, como compostos de enxofre, poeiras, óxido de carbono (monóxido e dióxido de carbono), compostos de nitrogênio, radioativos e compostos orgânicos.
- **Poluentes Secundários:** são aqueles gerados na atmosfera através de reações químicas entre dois ou mais poluentes, como o dióxido de enxofre (SO_2), que é originário das atividades industriais e dos veículos automotores, formando o gás sulfúrico (H_2S), e com a ação do oxigênio do ar, ou do ozônio, gera o SO_3 que reage com o vapor d'água existente na atmosfera acarretando, assim, na neblina de ácido sulfúrico.

Os poluentes do ar também podem ser classificados, conforme a sua composição química em: a) compostos orgânicos (hidrocarbonetos, alcoóis, aldeídos, cetonas, ácidos orgânicos) e b) compostos inorgânicos (compostos de enxofre, nitrogênio, halogenados, entre outros). E ainda em relação ao seu aspecto físico: a) partículas – mistura de compostos no estado sólido e/ou líquido; e b) gases e vapores – moléculas separadas, com grande mobilidade, que não tem forma ou volume definido (CETESB, 2017).

A saúde humana é diretamente afetada pela poluição do ar de dois modos diferentes, seja pelos microrganismos que são carregados pelo vento causando doenças, ou pela deterioração do aparelho circulatória e respiratório. Resfriado, difteria, tuberculose e gripe são as doenças acarretadas por microrganismos mais comuns, já o câncer pulmonar, asma, bronquite, enfisema, arteriosclerose e enfarte do miocárdio são mais normais do sistema respiratório e circulatório (POZZAGNOLO, 2013).

Os efeitos da poluição atmosférica, segundo Manzoli (2009), são ordenados da seguinte forma:

- **Efeitos agudos:** são efeitos temporários, quando o grau de poluição extrapola os níveis regulares do ar, aonde geralmente os efeitos são reversíveis e acontecem quando existem condições climáticas diferentes, causando tosse, irritação ocular e até causas críticas como mortalidade.
- **Efeitos Crônicos:** são de caráter perdurável, em que pode causar danos a vegetação, prejuízos à visibilidade e a saúde do homem, ocasionando desconforto e incômodos.

2.3.1 Dióxido de enxofre (SO_2)

O dióxido de enxofre é um dos principais poluentes do ar, sendo inserido na atmosfera por atividades humanas provindas da queima de combustíveis que contenha enxofre, como o óleo combustível industrial, e óleo diesel, podendo reagir posteriormente, com a água, e formar o ácido sulfúrico (H_2SO_4) (CETESB, 2017).

Esse poluente pode provoca irritação nas vias respiratórias, o que causa tosse e até falta de ar, assim, sendo capaz de agravar os sintomas de doenças como bronquite crônica e asma, além ainda de afetar outros órgãos sensoriais (INEA, 2012).

2.3.2 Monóxido de carbono (CO)

Segundo a CETESB (2017) o monóxido de carbono é um gás inodoro e incolor proveniente da queima incompleta de combustíveis fósseis e de origem orgânica, como combustíveis de biomassa, e em geral este gás é encontrado em maiores concentrações em centros urbanos, onde exista, principalmente, intensa circulação de veículos.

Os efeitos causados pela exposição do monóxido de carbono estão ligados a problemas no sistema circulatório. O gás apresenta uma grande compatibilidade com a hemoglobina, 240 vezes maior que o oxigênio, fazendo com que uma pequena quantidade de CO possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, assim interferindo na capacidade do sangue em transportar o oxigênio aos tecidos, além de também poder se combinar com proteínas mitocondriais e a mioglobina. Essa diminuição da disponibilidade de oxigênio pode causar a hipóxia (CLEVA; LAUDANNA, 2007).

2.3.3 *Monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂)*

Conforme a CETESB (2017), a emissão dos óxidos de nitrogênio acontece em grandes cidades, sendo usualmente os veículos automotores os principais responsáveis, pois estes gases são formados durante processos de combustão. Na presença de luz solar, o NO se transforma em NO₂, e tem grande importância na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio. O NO₂ pode causar prejuízos à saúde, dependendo da concentração, causando irritação no nariz, garganta e olhos.

Como o dióxido de nitrogênio possui baixa solubilidade, ele é capaz de se introduzir profundamente no sistema respiratório, tendo potencial de originar as nitrosaminas, onde algumas podem ser carcinogênicas. O NO₂ também é veemente irritante, podendo acarretar em sintomas parecidos com os de um enfisema (CAVALCANTI, 2010).

2.3.4 *Oxidantes fotoquímicos e Ozônio (O₃)*

Os oxidantes fotoquímicos são misturas de poluentes secundários originados pela reação entre os compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio, com ação da luz solar, onde os COVs são emitidos pela queima incompleta e evaporação de combustíveis e solventes. O produto mais importante desta reação é o ozônio, sendo que estes são utilizados como parâmetro para indicador a existência de oxidantes fotoquímicos no ar. Os ozônios troposféricos ocasionam o “smog fotoquímico” ou nevoa fotoquímica, que são chamados desta maneira porque causam a diminuição da visibilidade na atmosfera (CETESB, 2017).

É importante diferenciar o ozônio encontrado na troposfera daquele encontrado na estratosfera, no qual este composto opera como um filtro dos raios emitidos pelo Sol, os chamados raios ultravioletas, preservando a vida no planeta

(CETESB, 2017). Por outro lado, o ozônio troposférico, aquele presente na camada mais próxima da superfície terrestre, é nocivo à vegetação, animais, assim como, à saúde dos seres humanos. O ozônio troposférico gera a peroxidação e ozonização dos lipídeos no líquido que revestem o epitelial do pulmão (MARSHALL; GREGANTI, 2010).

2.3.5 Hidrocarbonetos (HC)

São compostos formados exclusivamente por átomos de hidrogênio e carbono. O petróleo e seus derivados, como o gás de cozinha, gasolina, querosene e óleo diesel, são constituídos essencialmente de HC, sendo os mesmos que constituem a maioria dos combustíveis de uso diário (SILVEIRA, 2011). Os hidrocarbonetos são decorrentes da evaporação e queima incompleta de combustíveis e de outros produtos orgânicos voláteis. Alguns destes gases, como o benzeno, quando possuem uma concentração maior do que o normal no meio ambiente, podem ser mutagênicos e cancerígenos (CETESB, 2017).

2.3.6 Material Particulado (MP)

Os poluentes desta classe não possuem uma espécie química determinada, e sim um conjunto de partículas no estado líquido ou sólido, que incluem aerossóis, fumaças, pós e poeiras, que podem ser emitidos para a atmosfera de várias maneiras (TORRES; ROCHA; RIBEIRO, 2008).

A dimensão das partículas em suspensão é inversamente proporcional ao potencial de malefício à saúde. Então, quanto menores as partículas maiores são as chances de causar danos à saúde. Outro problema que os materiais particulados podem acarretar é a redução de visibilidade do ar (CETESB, 2017)

2.4. Poluentes de efeito global - GEE

A radiação emitida pela superfície, em forma de raios infravermelhos, diferentemente dos raios emitidos pelo Sol, tem sua maior parte absorvida pela atmosfera. Isso acontece porque os gases do efeito estufa, quando atingidos por raios infravermelhos, são levados a um estado mais elevado de energia e, depois, emitem essa energia na forma de radiação para a atmosfera. Dessa maneira aquecendo a atmosfera e gerando um efeito estufa natural, sendo responsável pelo fato da temperatura média da superfície da terra ser aproximadamente 15 °C.

Portanto, pode-se afirmar que quanto maior a concentração dos GEE na atmosfera, maior será a quantidade de radiação infravermelha mantida na camada terrestre (MARTENS e ROTMANS, 1999).

Segundo Baird (2002) a superfície da terra e atmosfera é esquentada pela energia vinda do Sol, em média são absorvidas 50% da luz total incidente que alcança a superfície, outros 20% são absorvidas por gases ultravioletas (UV) e os demais 30% são refletidos de volta à atmosfera.

Nota-se que devido ao crescimento industrial, tecnológico e demográfico, a concentração de GEE na atmosfera vem crescendo em proporções jamais antes constatadas. Para Cardoso (2006) o principal responsável pelo aumento do efeito estufa por atividades antrópicas é o dióxido de carbono, que aumentou a sua concentração em 27% nos últimos cem anos, basicamente pela queima de combustíveis fósseis, como o carvão, petróleo e gás natural, para produção de energia. Na cidade de Mauna Loa, Havaí, foi executada uma série de experimentos onde foi possível medir a concentração de gás carbônico na atmosfera terrestre e concluiu--se um gradual aumento nas concentrações de CO₂ (CESAR, 2007).

Devido a este aumento da concentração de GEE na atmosfera terrestre, notaram-se mudanças climáticas em nível global, com consequências no ambiente humano e natural (IPCC, 2007). Estas mudanças resultam no aumento da temperatura do planeta, e ocasionam alterações na neve, gelo e solo congelado, além de efeitos no sistema hidrológico e biológico aquático e terrestre. As consequências dessas variações incluem:

- Crescimento do número de lagos glaciais;
- Crescimento da instabilidade do solo em regiões montanhosas e polares;
- Modificações em ecossistemas do Antártico e Ártico;
- Crescimento da vazão e escoamento de pico em geleiras e rios alimentados por neve;
- Aquecimento de rios e lagos em numerosas regiões;
- Adiantamento dos eventos da primavera.

Contudo, para diminuir o efeito estufa a médio e curto prazo é preciso reduzir a queima de combustíveis fósseis, sendo que os responsáveis por 84% do consumo energético no mundo são os países industrializados. Além de utilizar as mesmas medidas conservadoras, de origem fóssil, para o consumo de energia, deve haver estímulos para a utilização de fontes de energias renováveis como a energia eólica, solar e de biomassa para o setor de geração de energia, já para o setor de transportes, o consumo de biocombustíveis como o etanol e o biodiesel (LOPES; KRUGER, 1997).

O gás carbônico (CO_2) é o GEE mais conhecido, porém o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) são gases indutores de grande importância para o efeito estufa, sendo que primeiro possui um potencial de aquecimento 34 vezes maior que o CO_2 , e o último têm potencial 298 vezes maior que o dióxido de carbono (IPCC, 2015). Ainda assim, para cada 80 moléculas de gás carbônico no ar, existe apenas uma de metano. Então, mesmo que o potencial de aquecimento do metano seja muito maior, o gás tem muito menos importância para o aquecimento global que o dióxido de carbono. Estima-se que o metano tenha produzido cerca de um terço de todo o aquecimento global produzido pelo dióxido de carbono (BAIRD, 2002).

2.4.1 Dióxido de Carbono (CO_2)

A atmosfera é um reservatório de carbono, onde o gás encontra-se na composição de dióxido de carbono, um gás que, nas circunstâncias naturais de pressão e temperatura, é incolor e inodoro. Contudo, a partir da revolução industrial, o homem começou a utilizar excessivamente essa energia armazenada, com o processo de combustão, queima, passando a devolver CO_2 à atmosfera a uma taxa superior à capacidade de absorção pelas plantas e pelo oceano. O dióxido de carbono é o principal gás proveniente dos processos de combustão de combustíveis fósseis e de outros materiais combustíveis que contenham carbono. A elevação da concentração de CO_2 na atmosfera pode causar desequilíbrio do ciclo natural, ocasionando alterações climáticas a nível global (BRAGA et al., 2002).

2.4.2 Metano (CH_4)

O metano é um gás incolor e inodoro, sendo considerado um dos hidrocarbonetos mais comuns. O CH_4 é encontrado na atmosfera na proporção de 1,7 ppm aproximadamente, podendo ser gerado por meio de processos naturais

como, a decomposição de lixo orgânico, o metabolismo de alguns tipos de bactérias e digestão de animais herbívoros. Também é emitido pela extração de combustíveis minerais, essencialmente o petróleo e em processos anaeróbicos. Os principais aspectos negativos do metano, em escala global, é que ele colabora para o aquecimento global, por ser um gás que participa do efeito estufa, já em relação à saúde humana, se inalado pode causar asfixia, inconsciência, parada cardíaca e até mesmo danos no sistema nervoso central (FRANK et al., 2012).

2.4.3 Óxido Nitroso (N_2O)

O óxido nitroso emitido de fontes naturais, incluem os oceanos, o solo dos campos, florestas e savanas, enquanto os gases provindos das fontes antropogênicas incluem os solos agrícolas, fertilizantes nitrogenados, os dejetos de animais, resíduos vegetais, da produção de nylon e de ácido nítrico, e também da queima de combustíveis fósseis. Cerca de 40% do total de emissões de N_2O é representada pelas emissões antropogênicas. Apesar do óxido nitroso não ser abundante na atmosfera, o mesmo possui um potencial de aquecimento muito grande, sendo um dos redutores do ozônio estratosférico. Estipula-se que o N_2O tenha sido responsável por 5% do efeito estufa total ao longo do último século (FORSTER et al., 2007).

2.5 Emissões de gases por veículo automotor

Sabe-se que as grandes metrópoles, que tem uma vasta frota veicular, possuem uma maior poluição atmosférica por veículos automotores, pois são responsáveis pelas emissões de gases como hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, e monóxido de carbono, bem como de material particulado, podendo ocasionar grandes impactos à saúde humana e ao meio ambiente regional, além das emissões dos GEE (VIEIRA, 2009).

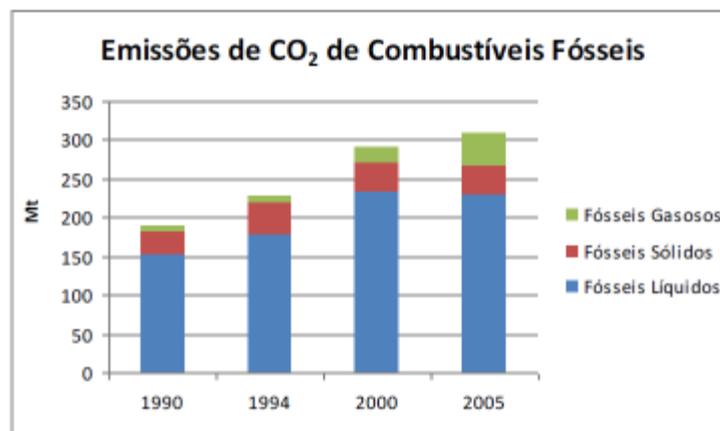
Os índices de emissões de gases variam com a natureza do combustível, sendo que no Brasil os principais combustíveis utilizados são o etanol, diesel e gasolina. Com a queima desses combustíveis ocorre a liberação de gases, sendo que os mais conhecidos são o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx) e óxidos de enxofre (SOx), todos devendo estar dentro dos limites definidos pela legislação (BRITO, 2005).

De acordo com Mendes (2004), o óleo diesel e a gasolina, derivados de petróleo, ainda permanecem sendo os combustíveis prevaletentes utilizados nos veículos automotores. No Brasil, no qual acontece uma ampla utilização de álcool etílico usado tanto exclusivamente como combustível, quanto misturado a outros derivados de petróleo, e, ademais, nota-se a expansão na utilização do gás natural veicular, especialmente em veículos leves de uso intensivo, como taxis, em grandes centros urbanos.

Além do tipo de combustível usado, os poluentes emitidos e a quantidade variam de acordo com o tipo de motor, da maneira que o veículo é conduzido e da regularidade de manutenção. Pela evaporação do combustível pelo respiro do tanque e no sistema de carburação do motor, os veículos podem emitir hidrocarbonetos mesmo se não está sendo usado. Com a adição de novas tecnologias como a injeção eletrônica de combustível, catalisadores e entre outras, nos veículos mais novos, esse tipo de emissão se torna insignificante (MANZOLI, 2009).

As emissões de combustíveis fósseis cresceram em torno de 63,5% no Brasil, de acordo com a Figura 3, aumentou de 189.635 para 309.978 GgCO₂ (Gigagrama de CO₂) entre os anos de 1990 e 2005. No intervalo de tempo analisado, nota-se um aumento em média anual das emissões de 3,4%. Ao decorrer do período, se manteve constante a emissão dos fósseis líquidos, embora tenha reduzido a sua participação, no total de emissões, de 79,9% para 71,4% (MCT, 2010).

Figura 3 - Emissões de CO₂ de Combustíveis Fósseis no Brasil.



Fonte: MCT (2010).

Conforme Manzoli (2009) a combustão correta dos veículos automotores é a completa, onde todo o combustível é convertido em dióxido de carbono e água. Esse processo acontece quando a proporção de ar e combustível é conferida nas quantidades corretas para a sua queima. Quando isso não ocorre corretamente, ocorre a combustão é incompleta, decorrente de proporções inadequadas de ar e combustível fornecidos ao motor, ocorre à liberação de monóxido de carbono nos produtos da combustão.

2.6 Combustíveis

2.6.1 Gasolina

Classificados na maioria das vezes como aromáticos, a constituição de hidrocarbonetos da gasolina comercial contém entre quatro e quinze carbonos, sendo classificados na maior parte como aromáticos (BALDESSAR, 2005 apud RIELLI, 2007).

De acordo com Souza (2011), além dos oxigenados e hidrocarbonetos, a gasolina é formada por compostos de nitrogênio, metálicos e enxofre, e para cada dezessete complementação são acrescentadas misturas de aditivos e solventes, no objetivo de melhorar o desempenho do combustível e melhorar a estabilidade da gasolina.

No Brasil, a quantidade percentual obrigatória de etanol anidro combustível na gasolina comum é de 27%, e 25% na gasolina premium, de acordo com a Portaria Nº 75, de 5 de março de 2015, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2015) e Resolução Nº 1, de 4 de março de 2015, do Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool (CIMA, 2015).

2.6.2 Etanol

O álcool possui grande destaque nos combustíveis da matriz energética do Brasil, no qual vale destacar que existem dois tipos, o álcool etílico hidratado, que é o vendido como combustível nos postos de combustíveis, e o álcool etílico anidro, que é aquele usado na gasolina. O etanol é proveniente de fonte energética renovável, como a cana de açúcar, assim possui seu conteúdo de carbono reciclado, tornando-o uma opção de combustível mais sustentável (SOUZA, 2011).

Conforme Távora (2011), a adição de álcool começou em 1977, com a porcentagem de 4,5% na gasolina, após dois anos, em 1979, aconteceu a segunda crise mundial do Petróleo, então em julho do mesmo ano o primeiro carro totalmente movido a etanol foi lançado no mercado nacional, o modelo 147 da Fiat. Logo após este, outras montadoras começaram a alimentar o mercado com essa nova opção, com vários outros modelos.

No final da década de 80, a circunstância do petróleo se invertia, à medida que o preço do barril diminuía, o etanol deixava de ser vantajoso, além de que o preço do açúcar aumentava no mercado, então era melhor aos produtores vender o açúcar do que produzir álcool como fonte de combustível e, conseqüentemente, faltou álcool nos postos de abastecimentos (ANDRADE et al., 2009).

De acordo com Manzoli (2009), com a chegada dos modelos de carros com motores bicombustíveis ou “flex-fuel”, em 2002, etanol e gasolina, o etanol retornou a ter importância no mercado brasileiro. Se comparados aos automotores movidos a gasolina, os movidos a etanol produzem cerca de um terço a menos de CO. Nota-se que a combustão incorreta do etanol pode gerar a emissões de aldeídos, acetaldeído e formaldeído, que são substâncias prejudiciais a saúde do homem além de favorecer a formação de ozônio na troposfera.

2.6.3 Diesel

Com características de não possuir cor e possuir cheiro característico, o óleo diesel se destaca ainda por ser formado essencialmente por uma mistura de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTPs), que são substâncias mais pesadas que na gasolina, tendo em torno de 40% de cicloalcanos, 40% de n-alcanos, 20% de hidrocarbonetos aromáticos e uma pequena camada de enxofre, nitrogênio, isoprenóides e compostos oxigenados (SOUZA, 2011).

Segundo Carvalho (2011) por ser referente de um produto derivado do petróleo, o óleo diesel é uma fonte de energia poluente, tendo o enxofre como o principal diferencial, podendo formar SO_3 e SO_2 na sua combustão, causando danos à saúde humana, meio ambiente, e ao motor pela corrosão das partes metálicas.

2.7 Padrão nacional de qualidade do ar

A resolução nº 003 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA define no Brasil os padrões de qualidade do ar, assim:

São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e a fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

(CONAMA, 1990. P.1.)

No 2º artigo da resolução citada anteriormente, são definidos dois tipos de padrões de qualidade de ar no Brasil:

I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

II - Padrões Secundários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

(CONAMA, 1990. P.1.)

Conforme a Tabela 1, referente aos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar do Conama (1990), os padrões legislados no Brasil compreendem os seguintes poluentes atmosféricos: partículas totais em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃) e dióxido de nitrogênio (NO₂). Portanto, no Brasil não existe legislação para medidas diretas de controle dos gases que contribuem para o efeito estufa.

Tabela 1 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.

(Continua)

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário µg/m ³	Padrão Secundário µg/m ³	Método de Medição****
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas*	240	150	Amostrador de Grandes Volumes
	MGA*	80	60	
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas*	150	150	Separação Inercial/Filtração
	MAA***	50	50	

*Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

*Média geométrica anual.

***Média aritmética anual.

****A resolução permite a utilização de método equivalente.

Tabela 1: Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.

(Conclusão)

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de Medição****
Fumaça	24 horas*	150	100	Refletância
	MAA***	60	40	
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	24 horas*	365	100	Pararosanilina
	MAA***	80	40	
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	1 hora*	320	190	Quimiluminescência
	MAA***	100	100	
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora*	40.000	40.000	Infravermelho não Disperso
		35 ppm	35 ppm	
	8 horas*	10.000	10.000	
		9ppm	9ppm	
Ozônio	1 hora*	160	160	Quimiluminescência

*Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano.

**Média geométrica anual.

***Média aritmética anual.

****A resolução permite a utilização de método equivalente.

Fonte: CONAMA (1990).

2.8 Fontes alternativas de combustíveis no Brasil

Uma qualidade particular do Brasil é o desenvolvimento industrial e aplicação de energia de biomassa. O carvão vegetal fabricado a partir de plantações de eucaliptos, o etanol oriundo da cana-de-açúcar, o uso da biomassa em indústrias de papel celulose, como a utilização de cascas e serragem, são exemplos de utilização de fontes de energia renováveis (GOLDEMBERG E LUCON, 2006).

Para Correa, Farret e Cunha (2001), por motivos econômicos, segurança e ambientais, o investimento em novos tipos de fontes de energia tem sido cada vez mais importante para a sociedade. Se comparar óleo diesel com o biodiesel, o último mostra significativas vantagens em relação a emissões de gases poluentes, notando-se a redução de emissões de até 98% no caso do enxofre, 50% para material particulado e cerca de 78% da emissão de GEE (ROSA et al., 2003).

Levando em conta que para a produção do biodiesel não são necessários grandes desenvolvimentos tecnológicos, nem investimentos elevados, devido à semelhança das características com o diesel, assim, o mesmo possui a vantagem

para que possa se tornar uma alternativa capaz de atender a maior parte de frota já existente no mercado (LAURINDO, 1999).

De acordo com Christoff (2006), uma vantagem relacionada à questão ambiental, para o uso, como matéria-prima, de óleos residuais de fritura para a fabricação de biodiesel, é a diminuição da contaminação de solos e de recursos hídricos devido à inadequada destinação. Já no aspecto tecnológico a grande vantagem é que se dispensa o processo de extração do óleo, e na questão econômica o menor custo é a maior característica, por se tratar de um óleo já utilizado no processo de frituras.

2.9 Avanços tecnológicos dos motores

Nos primeiros veículos, o principal componente do sistema de alimentação era o carburador, onde era responsável por gerenciar a mistura ar-combustível nas proporções necessárias para o funcionamento correto do motor. Embora tenha sido modificado diversas vezes, não foi possível diminuir a níveis toleráveis, de acordo com as exigências que surgiam relacionadas as emissões de poluentes (ALTESE, 2008).

Segundo Altese (2008), em 1988 foi criado o sistema de injeção eletrônica analógico, que foi feito com o propósito de substituir o carburador, e a partir de 1991 dominou o mercado automotivo. Seu desempenho caracterizou-se pelo crescimento da eficiência do motor, pois o sistema eletrônico coordena a dosagem certa da mistura ar-combustível.

Em relação ao avanço tecnológico, destaca-se também a utilização do sistema catalítico popularmente chamado como catalisador, que foi empregado inicialmente no Brasil entre os anos de 1996, e foi uma condição determinante para o decréscimo de emissão de gases poluentes em veículos (ALTESE, 2008).

Hoje existem veículos que utilizam motor a combustão interna e motores elétricos, conhecidos como híbridos, é uma tecnologia que o mercado tem investido e promete conquistar o setor automobilístico. Os veículos híbridos trabalham com um motor de combustão interna, todavia também são capazes de converter energia em eletricidade, que é guardada em uma bateria até que o motor elétrico entre em funcionamento, tracionando o veículo, economizando a energia solicitada pelo motor

de combustão interna, assim, permitindo que o mesmo motor seja mais eficiente, utilize menos combustível e produza menos poluentes (QUEIROZ, 2006).

Conforme estudos realizados recentemente no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Petrobrás, CENPES, os veículos que possuem motores híbridos mostraram uma redução significativa dos níveis de poluentes, apresentando valores baixíssimos em relação aos veículos à combustão interna. Os experimentos realizados com veículos que estão no mercado atualmente tiveram valores próximos de 10% dos limites estabelecidos por lei (Fase III do Proconve) (MELO, 2004). A emissão de gases na atmosfera reduziria de 50% a 80% se relacionado aos veículos tradicionais, em algumas situações chegando até 90% de redução (TECHNOLOGY SNAPSHOT, 2003).

2.10 Inventário de emissões atmosféricas

O inventário de emissões é uma ferramenta que possibilita uma análise global de todos os poluentes emitidos, assim como as suas propriedades físicas e a localização das emissões, e são utilizados prioritariamente na análise de tendências anuais para averiguar se houve a diminuição ou o aumento da produção de gases emitidos por uma determinada fonte, o que ocasiona mudanças detectadas na qualidade do ar (LYRA, 2008).

Lyra (2008) também destaca que os resultados adquiridos em um inventário possibilitam uma sucessão de outras importantes utilizações, como no uso de dados de entrada nos simuladores de dispersão dos poluentes.

A construção do inventário é o início para a implantação de programas voltados ao melhoramento da qualidade do ar, desde que apresente as seguintes condições (MCT, 2006):

- a) constatar as diferentes fontes contribuintes e as emissões totais;
- b) identificar os principais poluentes emitidos em uma área;
- c) analisar os efeitos das medidas de controle sobre as taxas de emissão;
- d) estimar os efeitos das emissões atmosféricas na qualidade do ar;
- e) identificar medidas potenciais de redução;
- f) definir tendências de emissões futuras.

2.10.1 Tipo de estimativa de emissões

A escolha de um procedimento para determinação das emissões atmosféricas depende do tipo de poluente, do tipo de fonte e do nível de precisão requerido ou desejado pela legislação. Destacam-se quatro técnicas preferenciais (LYRA, 2008):

- **Monitoramento contínuo de emissões:** possibilita o registro das emissões por um longo período de tempo e sem interrupções. As taxas de emissão são calculadas multiplicando-se a vazão dos gases de saída pela concentração do poluente. Esta é a melhor técnica de se efetuar um inventário embora os custos sejam elevados.
- **Medição de fonte:** muito utilizada para estimar as emissões de processos que consistem em medições em uma chaminé ou em um “vent” de processo. A diferença essencial entre a técnica atual e a citada anteriormente, é o tempo de medição, que, no caso da medição de fonte é realizado por período de tempo curto.
- **Fatores de emissão:** consiste em uma das mais úteis técnicas para estimar as emissões atmosféricas, sendo essenciais para o gerenciamento da qualidade do ar. Um fator de emissão determina uma relação entre a quantidade de poluente emitida e um parâmetro conhecido de processo, como o consumo de combustível. Depois de conhecida a concentração de um poluente, ou do precursor de um poluente, assume-se que todo o poluente é emitido para a atmosfera. É uma técnica usualmente desenvolvida para representar as cargas de poluentes médias, emitidas em um longo prazo, como por exemplo, as cargas médias anuais, e em condições normais de operação, assim, não são aconselháveis para estimar emissões durante períodos curtos. As referências principais para o a utilização dos fatores de emissão é o “Air Chief” da EPA, sendo que cada fator é associado a uma classe de qualidade do FEM, variando de “A” a “E”, onde “A” possui melhor valor. Quanto maior a qualidade do fator, mais alta é a probabilidade de que este seja representativo nas emissões de certa fonte.
- **Balanço material ou balanço de massa:** é bastante utilizado para estimar as emissões de tipos de fontes distintas. Estimam-se as emissões pela diferença entre os materiais de entrada e saída em um vaso, no processo ou em toda a planta. Só deve ser usado quando não existir fatores de emissão ou outras

técnicas disponíveis, ou quando a medição na fonte não for possível. O Balanço material é mais adequado quando as perdas de certa substância, através dos resíduos sólidos e dos efluentes líquidos puderem ser calculadas com grande precisão.

Previamente, é possível apontar os tipos de poluentes atmosféricos existentes, relacionando-os com os diferentes tipos de fontes de emissão. A Tabela 2 indica os principais poluentes atmosféricos associados aos segmentos produtivos e operações industriais (EPA, 1997).

Tabela 2 - Poluentes atmosféricos e suas fontes potenciais de emissão.

Fonte	Descrição	COVs	CO	NOX	SO₂	MP
Queima de combustível	Óleo, gás, carvão, outros;		x	x	x	x
Fabricação de produtos químicos	Produtos orgânicos	x	x			
	Produtos inorgânicos		x			
	Polímeros e resinas	x				
Processamento de metais	Outros produtos químicos	x	x			
	Metais não-ferrosos		x			x
Outros processos industriais	Papel e celulose	x	x			x
Utilização de solventes	Desengraxe	x				
Estocagem e transporte	Produtos orgânicos	x				
	Produtos inorgânicos					x
Tratamento de Efluentes e resíduos	Incineração		x			x
	Estações de tratamento	x				
Outras fontes	Torres de refrigeração	x				

Fonte: EPA (1997).

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi desenvolvido um inventário para estimar a emissão de gases de efeito estufa e gases de efeito local procedentes dos veículos automotores no Brasil, compreendendo a frota circulante do ano de 2016.

O trabalho foi desenvolvido por meio das seguintes etapas:

- Análise e quantificação da frota de veículos do Brasil e dos estados, por tipo e ano de fabricação;
- Estimativa dos fatores de emissão de cada gás poluente para determinado tipo de combustível e o ano do veículo;
- Estimativa da distância média percorrida dos veículos nos últimos 40 anos;
- Determinação da quantidade de gases poluentes emitidos por tipos de combustíveis, compreendendo gasolina, etanol e diesel; e tipo de veículo, como automóveis, motocicletas, motonetas e ciclomotores, caminhões, caminhões trator, ônibus, micro-ônibus, utilitários, caminhonetes e camionetas;
- Distribuição e análise das emissões dos gases de efeito estufa e gases de efeito local por estado e região;
- Análise da substituição dos combustíveis convencionais por biocombustíveis (etanol e biodiesel);
- Análise da substituição dos veículos tradicionais por veículos híbridos.

3.1 Método de estimativa e fatores de emissões dos gases

A metodologia e os fatores de emissão utilizados neste trabalho para o cálculo das emissões de gases de efeito estufa foram baseados nos relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2014), pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2014) e pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2006).

Para os cálculos das emissões (Eq. 1) de gases de efeito estufa foi considerado a frota circulante, a distância média percorrida e os fatores de emissão. Os três itens citados foram separados segundo o tipo de combustível (diesel, etanol e gasolina) e o ano de fabricação (MCT, 2006).

$$E_{g,t} = FE_{g,t,c} \times F_{g,t} \times DM_{g,t} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

$E_{g,t}$ (g) = emissão do gás (g) pela frota ano/modelo (t);

$FE_{g,t,c}$ (g/km) = fator de emissão do poluente (g) característico dos veículos produzidos no ano (t) e do combustível (c);

$F_{g,t}$ = frota de veículos movidos a combustível (g) produzidos no ano (t) e circulando no ano (a);

$DM_{g,t}$ (Km) = distância média percorrida no ano (a) pelos veículos movidos a combustível (g) e produzidos no ano (t).

3.1.1 Fatores de emissão

Os fatores de emissão são determinados por meio de ensaios conforme norma NBR-6601 - Análise dos Gases de Escapamento de Veículos Rodoviários Automotores. Nessa avaliação, o veículo é submetido a uma análise que simula um ciclo considerado como singular para as vias públicas, com as seguintes condições:

- Temperatura ambiente de 20 a 30°C;
- Velocidade média em tráfego urbano de 31,5 km/h;
- Umidade relativa do ar de 40 a 60%.

Em vista das mínimas variações das circunstâncias de referência, o teste permanece admissível. Os fatores de emissão para um ano são o resultado de médias ponderadas dos fatores de emissão de cada modelo de veículo deste ano, pelo volume da produção de veículos.

3.1.1.1 Fatores de emissão para Gases de Efeito Estufa

Os gases estimados foram o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O). Para o cálculo destas emissões foram utilizados os fatores de emissões (Tabela 3, 4 e 5 em anexos) do Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa do MCT (2006) e do Relatório de Emissões Veiculares da CETESB (2014).

Segundo a CETESB (2014), não há estudos anteriores para fatores de emissão do óxido nitroso e de gás metano para veículos movidos a óleo diesel, portanto, serão utilizados os mesmos valores para todos os anos conforme mostrado nas Tabelas 4 e 5 em anexos.

3.1.1.2 Fatores de emissão para Gases de Efeito Local

Os gases de efeito local contabilizados foram o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), o monóxido e dióxido de nitrogênio (NO_x) e materiais particulados (MP). Para o cálculo destas emissões foram utilizados os fatores de emissões (Tabela 6, 7, 8 e 9 em anexos) do Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa do MCT (2006) e do Relatório de Emissões Veiculares da CETESB (2014).

3.1.2 *Frotas circulantes estaduais*

Os dados da frota foram obtidos do sítio virtual do Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN) de cada estado brasileiro referente a 40 anos de circulação, pois segundo a Agência de Proteção Ambiental dos EUA, a vida útil média de um veículo no Brasil é em torno de 40 anos (DETRAN, 2017; EPA, 2014). Na Tabela 10 em anexos é apresentado um exemplo dos dados do estado do Rio Grande do Sul que serão utilizados no estudo, composto por informações gerais e específicas para cada veículo. Alguns estados não possuem dados detalhados da frota veicular, como, quantidade de veículos por ano de fabricação, então foi feita uma média nacional, através de dados do DENATRAN (2017), e estimado os valores para estes estados.

3.1.3 *Distância média percorrida*

A quilometragem média veicular é um parâmetro importante para determinar as emissões de gases de efeito estufa e local. No entanto, para as frotas estaduais, não existe séries temporais oficiais para essa variante, adotando-se um método para a sua estimativa. Utilizamos o método onde a quilometragem média veicular é função da idade do veículo. A distância média que será utilizada para o cálculo das emissões é apresentada na Tabela 11 em anexos, referente ao relatório de emissão veicular da CETESB (2014), que é baseado em dados sobre a quilometragem média percorrida pelos veículos segundo seu combustível e anos de uso.

3.4 Etanol

Para calcular a emissão dos poluentes provindos da substituição dos veículos movidos a combustíveis convencionais pelo etanol, foi usado o total de veículos leves (automóveis, motocicletas, motonetas e ciclomotores) do Brasil, pois são os que rodam com esse tipo de combustível renovável, e foram utilizados os fatores de emissão presentes nas Tabelas 3, 4 e 5, em anexos, para gases de efeito estufa, e Tabelas 6, 7, 8 e 9, em anexos, para os gases de efeito local.

3.5 Biodiesel

Para os cálculos das estimativas de emissão da frota de veículos que utiliza diesel, sendo substituído pelo biodiesel, foram utilizados dados do programa brasileiro da Greenhouse Gas Protocol (2017), que diz que os fatores de emissão para gases de efeito estufa do biodiesel puro, o B100, é para dióxido de carbono (CO_2) 243 (g/km), 0,002 (g/km) para o óxido nitroso (N_2O), e 0,03 (g/km) para o gás metano (CH_4).

Segundo estudo, o biodiesel promove decréscimo na porcentagem de emissão de gases de efeito local (MAZIERO et al., 2006), porém não foram encontrados dados para os fatores de emissão dos poluentes. Portanto não foi possível estimar a emissão do monóxido de carbono, dos hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e material particulado para este tipo de biocombustível.

3.6 Veículos Híbridos

Ainda não possuem fatores de emissão para esse tipo de veículo, por ser uma tecnologia muito nova e, também, porque eles continuam usando os combustíveis convencionais, porém diminuem o seu consumo devido a sua capacidade de converter energia de frenagem em eletricidade.

Então para o cálculo da substituição da frota veicular atual, por carros elétricos, foram utilizados dados de dois estudos, Morales (2015) e Dullius (2017), onde ambos mostraram que o consumo de combustível diminuiu em torno de 35%, assim como as emissões de dióxido de carbono e dos gases de efeito locais - monóxido de carbono, hidrocarbonetos, nitrogenados e materiais particulados.

3.7 Cálculo de CO₂ equivalente

As emissões de gases de efeito estufa são expressas em CO₂ equivalente (CO_{2eq}), isto é, considera-se o potencial de aquecimento global (PAG) de cada um dos gases. É uma unidade universal de medição para indicar o impacto de aquecimento global ou mudanças climáticas. As emissões em CO_{2eq} são estimadas pela equação 2, considerando o horizonte de 100 anos, o PAG do gás carbônico é igual a 1 kg CO₂/kg CO₂, PAG do metano é igual a 34 kg CO₂/kg CH₄ e o PAG do óxido nitroso é igual a 298 kg CO₂/kg N₂O (IPCC, 2015).

$$E_{CO_2 eq} = PAG_{CO_2} \times E_{CO_2} + PAG_{CH_4} \times E_{CH_4} + PAG_{N_2O} \times E_{N_2O} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde,

PAG_{CO_2} = Potencial de Aquecimento Global do gás carbônico;

E_{CO_2} = Emissão total de dióxido de carbono (Kg);

PAG_{CH_4} = Potencial de Aquecimento Global do metano;

E_{CH_4} = Emissão total de metano (Kg);

PAG_{N_2O} = Potencial de Aquecimento Global do óxido nitroso;

E_{N_2O} = Emissão total de óxido nitroso (Kg).

4 RESULTADOS

4.1 Diesel

Nas Tabelas 12, 13, 14, 15 e 16, em anexos, são apresentadas as estimativas de emissões dos gases de efeito estufa e local por estados e regiões. A frota veicular foi determinante para a quantidade de emissão, portanto as regiões com maiores frotas são as mais poluidoras.

A região sudeste é responsável por 49,4% da poluição provinda de veículos movidos a diesel de todo o país, seguida pelas regiões sul (21,7%), nordeste (15,4%), centro-oeste (8,2%), e Norte (5,3%). É de se destacar que as regiões com maior índice de emissão, sudeste e sul, são as com menores extensões de área, o que se torna agravante, pois isso significa que a concentração dos gases na atmosfera é maior nestes estados, concentrado em grandes centros urbanos.

Verificou-se que o desenvolvimento e urbanização é o fator que mais influencia no aumento da emissão de gases por veículos automotores, pois na região sudeste, a mais poluidora, em torno de 57% da população possui veículos. Já na região norte, a menos desenvolvida, apenas 30% da população possui veículos.

4.2 Gasolina

Para o cálculo das emissões dos gases oriundos dos veículos movidos à gasolina e movidos a gasolina e etanol (carros flex) baseou-se na quantidade de gasolina e etanol hidratado comercializado no ano de 2016, em cada estado, dados disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2016).

Apesar dos fatores de emissão da gasolina serem inferiores aos do diesel, a frota de veículos movidos pelo primeiro combustível é bem maior, assim a quantidade estimada de emissão dos gases foi maior para os veículos leves, em quatro das cinco regiões, como pode ser visto nos anexos nas tabelas 17, 18, 19, 20 e 21.

Apenas o Sudeste teve emissões menores em relação ao diesel, devido a utilização do etanol ser maior nos estados da região. Assim, substituindo o uso da gasolina, ainda continua sendo a região mais poluidora do país, contribuindo em torno de 42,1% das emissões. O sul continua sendo o segundo maior poluidor,

21,8% dos gases emitidos na atmosfera do país provém dessa região, seguido do Nordeste (21,1%), Centro-oeste (8,1%) e Norte (6,9%).

4.3 Etanol

Assim como na gasolina, foi utilizado os dados da ANP (2016) para o desenvolvimento dos cálculos das estimativas de emissão dos gases de efeito estufa e local. Analisando os dados das Tabelas 21, 22, 23, 24 e 25, em anexos, a região sudeste é amplamente a que mais emite gases por meio de veículos movidos a etanol, em torno de 61,3% de toda a emissão do país.

O Sudeste é o maior poluidor, porque, além da sua frota ser a maior dentre as regiões, também é a que mais consome etanol. Isso também está associado à extensa área e a região de cultivo de cana-de-açúcar na região, principalmente, no estado de São Paulo, que proporciona a oferta do biocombustível a valores mais baixos do que outros estados. O Sul vem em seguida, com 19,1%, sendo o Paraná o estado que mais consome etanol da região, 39,5% dos seus veículos leves são movidos pelo biocombustível. O Rio Grande do Sul é o menor consumidor da região, e também um dos menores do país, em que apenas 4,6% da sua frota utiliza o álcool como combustível.

O Centro-Oeste vem em terceiro, emitindo 10,8% dos gases do Brasil, sendo em porcentagem a região que mais consome etanol no país e, desta forma, passando na frente da emissão do Nordeste (7,6%), que apesar de ter frota maior que a região central, utiliza bem menos etanol como combustível. Vale destacar que o Mato Grosso é proporcionalmente o estado que mais utiliza etanol hidratado como combustível, onde em torno de 55,3% dos veículos leves são movidos a álcool.

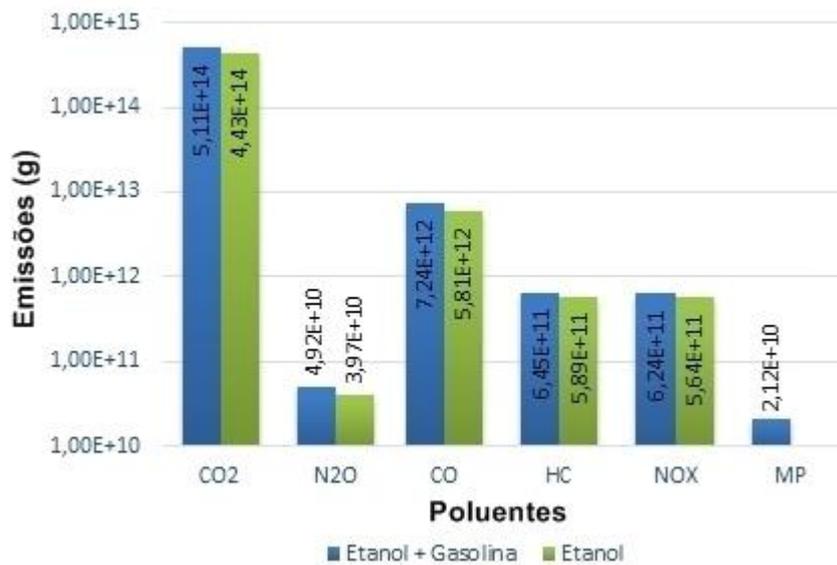
A região Norte é a última, contribuindo com pouco menos de 1,2% das emissões do país, pois além de ser a menor frota do Brasil, a região utiliza muito pouco o álcool como combustível.

4.4 Substituição da Gasolina pelo Etanol

Analisando os resultados apresentados na figura 4, observa-se que se o etanol fosse o único combustível usado em veículos leves, haveria um decréscimo na emissão dos gases de efeito local, reduziria em torno de 27,71% do monóxido de carbono, 9,93% dos hidrocarbonetos, 10,64% dos nitrogenados e, notoriamente, a

maior redução, a dos materiais particulados, igual a 100%. Esses resultados mostram a grande vantagem na utilização de etanol nos grandes centros urbanos para reduzir a poluição local, que é a principal responsável por causar doenças no sistema respiratório. Já entre os gases de efeito estufa, diminuiria 14,87% as emissões de dióxido de carbono e 23,93% de óxido nítrico.

Figura 4 – Emissão dos gases de veículos movidos à gasolina e/ou etanol do país e pela frota movida unicamente por etanol (g).



Fonte: Autor (2017)

O etanol continua sendo a melhor opção, porque o petróleo é uma energia não renovável e, inevitavelmente, suas reservas irão se esgotar futuramente, já o etanol não possui limite de tempo, pois a sua produção depende apenas de terras cultiváveis para o plantio de cana-de-açúcar e outros insumos. Também, durante o seu ciclo de vida, o etanol lança menos dióxido de carbono na atmosfera, pelo fato dele ser extraído de plantas, onde estas, durante a fotossíntese, absorvem o gás carbônico da atmosfera, acarretando que quase todo o gás seja absorvido pelas próprias, e assim acarretando num ciclo carbônico (saldo zero).

4.5 Substituição do Diesel pelo Biodiesel

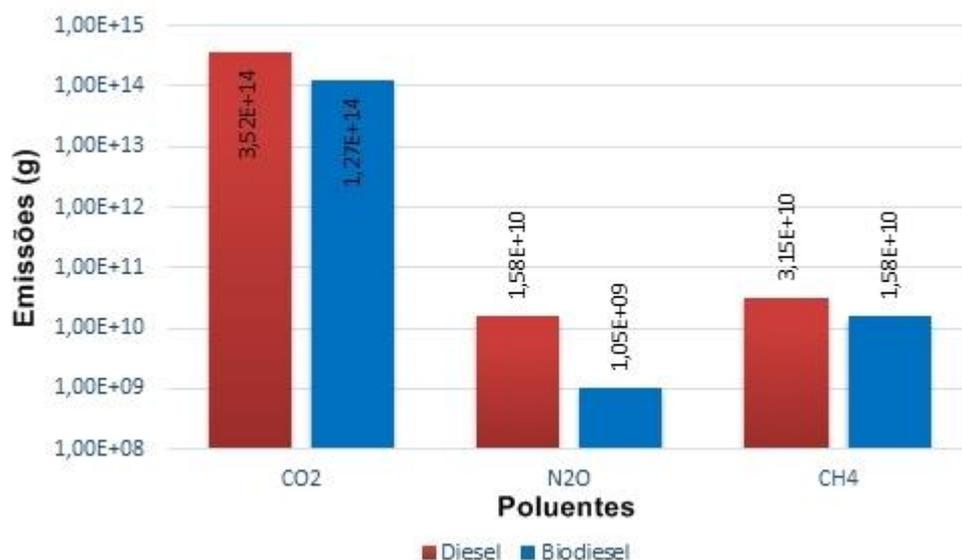
Na análise onde os veículos que utilizam diesel, utilizassem biodiesel, os resultados para os gases de efeito estufa foram mais satisfatórios, segundo a figura 5, sendo que as emissões diminuiriam em porcentagem 63,84% para o dióxido de carbono, 49,84% para o metano, e o mais decréscimo mais drástico, do óxido

nitroso, que foi de aproximadamente 93,35% de poluição à menos que o combustível convencional.

O biodiesel, assim como o etanol, é provindo de energia renováveis, portanto não é esgotável, e o ciclo do combustível produz menos dióxido de carbono. Mesmo sem dados de fatores de emissão do biodiesel para gases de efeito local, sabemos que os biocombustíveis, geralmente, emitem menos monóxido de carbono, e principalmente, material particulado na atmosfera que os derivados de petróleo, devido ser um resíduo da queima de combustíveis fósseis.

Entretanto, a realidade do biodiesel de ocupar sozinho o tanque dos veículos de todo o país está um pouco distante. Hoje no Brasil apenas 8% do biodiesel é usado na mistura do diesel comercializado (MMA, 2016), e ainda não possuímos a comercialização do biodiesel puro nos postos de combustíveis.

Figura 5 - Emissão dos gases de efeito estufa dos veículos movidos a diesel do país e pela frota movida a biodiesel (g).



Fonte: Autor (2017)

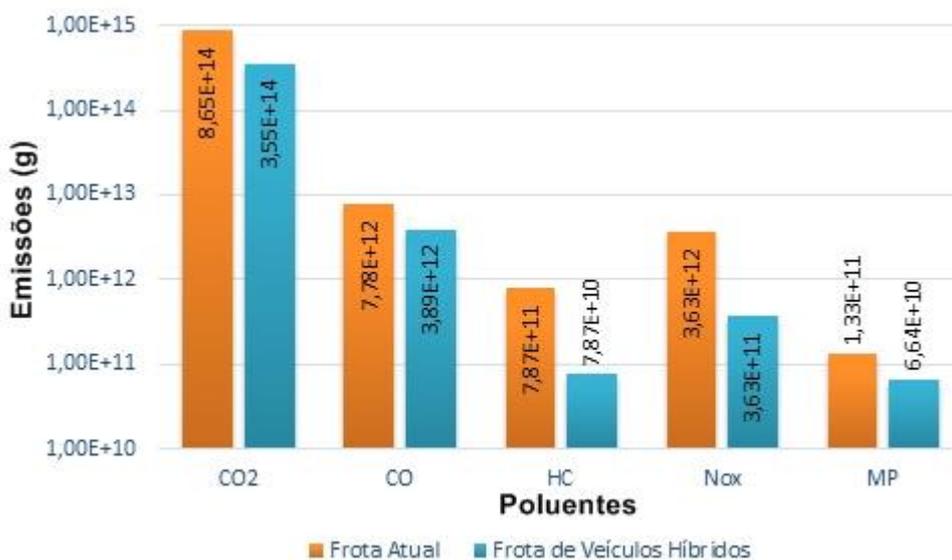
4.6 Substituição da Frota Atual pelos Veículos Híbridos

Segundo os dados adotados dos estudos de Morales (2015) e Dullius (2017), se a frota de veículos convencionais fosse substituída por veículos híbridos, haveria uma diminuição em torno de 59% na emissão do dióxido de carbono, 50% para o monóxido de carbono e materiais particulados e, a redução mais relevante, de 90% para os hidrocarbonetos e nitrogenados, como pode ser observado na figura 6,

confirmando que o carro híbrido é uma tecnologia sustentável, que além de contribuir para redução do consumo de recursos naturais, pois o consumo de combustíveis fósseis é menor, reduz consideravelmente a poluição atmosférica.

Por outro lado, a grande desvantagem desta tecnologia é o custo inicial. Mesmo em alguns países onde são concedidos incentivos econômicos pelo governo para aquisição de veículos híbridos, o seu valor ainda é elevado, sendo muito maior do que um modelo semelhante, a combustível convencional.

Figura 6 - Emissão dos gases de efeito estufa da frota atual de veículos do país e pela frota de carros híbridos (g).

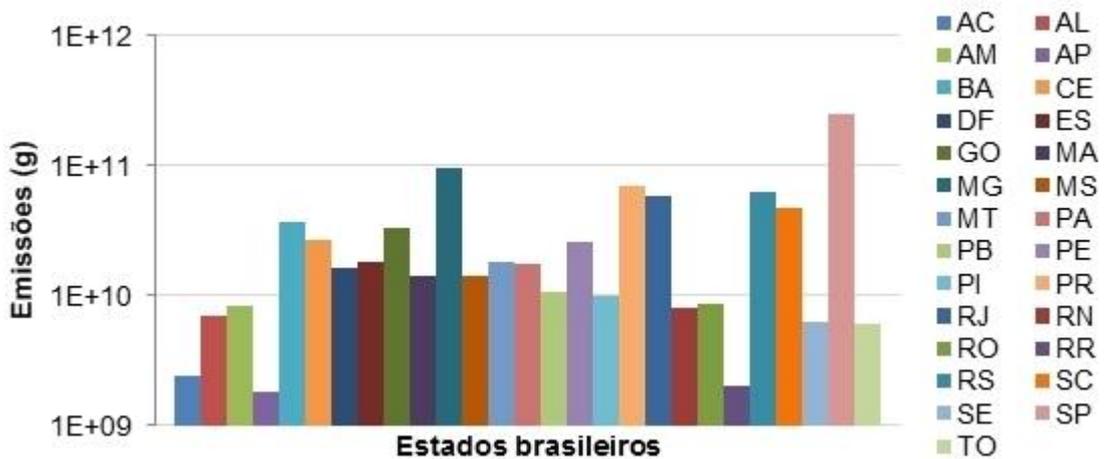


Fonte: Autor (2017)

4.7 CO₂ Equivalente

Conforme figura 7, em torno de 28,59% da emissão de dióxido de carbono equivalente do país é oriunda do estado de São Paulo, isso é muito semelhante ao porcentual da frota do estado em relação ao resto do Brasil, onde aproximadamente 30% dos veículos do país estão no território paulista. Portanto, São Paulo é o estado que mais contribui com emissões de gás carbônico providas de veículos leves e pesados.

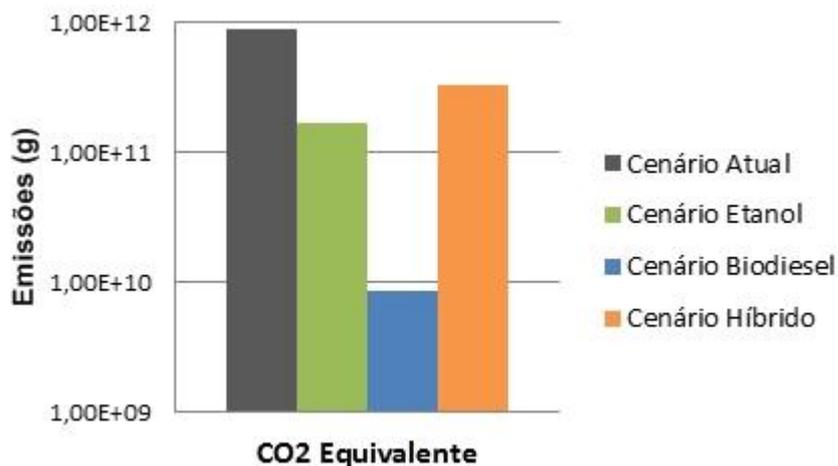
Figura 7– Emissão de CO₂ equivalente pelos veículos automotores no ano de 2016 por estados do Brasil (kg).



Fonte: Autor (2017)

As emissões de CO₂ (gás carbônico) oriundas da combustão do etanol e biodiesel são consideradas iguais à zero, chamadas de emissões evitadas, pois, todo esse dióxido de carbono vai ser absorvido pela fotossíntese, durante o próximo cultivo da cana-de-açúcar, soja, mamona, etc. Na figura 8 são apresentados valores para o CO₂ equivalente, comparando o cenário atual do país, com cenários hipotéticos de substituição do combustível convencional pelo etanol, biodiesel e o uso dos carros híbridos, assim sendo possível observar qual deste contribui menos para o aquecimento global.

Figura 8 – Comparação entre os cenários das emissões de CO₂ equivalente no ano de 2016 no Brasil (kg).



Fonte: Autor (2017)

5 CONCLUSÕES

A urbanização desregulada continua sendo o fator principal que influencia no aumento das emissões de gases de efeito estufa, e local, pois à medida que as cidades vão se desenvolvendo, maiores são as dificuldades da mobilidade urbana. Se o governo não investir em transportes públicos, as pessoas vão à busca de uma melhor comodidade, assim optando por transportes individuais. Dessa maneira, a frota aumenta e, conseqüentemente, as emissões dos gases para a atmosfera.

O estudo estimou as emissões de gases de efeito estufa e local, podendo comparar as diferentes regiões do Brasil, onde mostrou que a quantidade de emissão de gases produzidos pelos veículos do país é preocupante, e que as regiões sudeste e sul, com maior frota nacional, são as mais poluidoras.

Também foi possível avaliar o impacto da poluição atmosférica pela substituição dos combustíveis convencionais pelos renováveis, assim como a implementação dos carros híbridos na frota. Se confirmando que estas substituições trarão benefícios para a qualidade do ar e contribuiram para diminuição do aquecimento global, em razão da notória redução da emissão dos gases de efeito local e global, respectivamente.

Portanto, mesmo hoje sendo financeiramente mais caro, o país precisa ter uma visão mais sustentável, pois possui potencial para produzir energia renovável e investir em tecnologias que futuramente poderão trazer benefícios para a economia, e, principalmente, para o planeta.

REFERÊNCIAS

ALTESE. **Carburador, injeção e injeção direta: evolução e diferenças**. Rio de Janeiro 2008. Disponível em: <<http://www.altese.com.br>>. Acesso 25 de maio de 2017.

ANDRADE, E. T.; CARVALHO, S. R. G.; SOUZA, L. F. Programa do Proálcool e o Etanol no Brasil. **ENGEVISTA**, Rio de Janeiro, dezembro de 2009.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Vendas Anuais de Etanol Hidratado e Derivados de Petróleo por Município**, Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos>>. Acesso em 04 de novembro de 2017.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BALDESSAR, F. **Modelagem matemática de unidades de craqueamento catalítico – cinética de seis classes para o elevador**. Dissertação (Mestrado). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2005.

BOLIGIAN, L. **Geografia: espaço e vivencia: volume único**. São Paulo: Atual, 2004.

BORSARI, V.; ASSUNÇÃO, J. V. As Emissões de Gases de Efeito Estufa por Veículos Automotores Leves. **InterfacEHS**, São Paulo, outubro de 2006.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRITO, H. P. de. **Análise das emissões atmosféricas geradas por veículos automotores em Natal-RN**. Dissertação (Mestrado) – Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

CARDOSO, F., **Efeito Estufa: Por que a Terra morre de calor**. São Paulo: Editora Terceiro Nome; Mostarda Editora, 2006.

CARVALHO, C. H. R. **Emissões Relativas de Poluente do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2011.

CASTRO et al. **Química na sociedade: projeto de ensino de química em um contexto social**. Brasília: Universidade de Brasília, 2000.

CAVALCANTI, P. M. P. S. **Modelo de Gestão da Qualidade do ar – Abordagem Preventiva e Corretiva**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CESAR, P., **Portal de estudos em química: Ciclo do Carbono**. Curitiba, 2007. Disponível em: <http://www.profpc.com.br/ciclo_carbono.htm>. Acesso em 07 de maio de 2017.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2014.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Mudanças climáticas e o Setor Elétrico Brasileiro**. São Paulo, 2012.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Poluentes Atmosféricos**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/poluentes/>>. Acesso em: 19 de maio de 2017.

CHRISTOFF, P. **Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Tecnologia para Desenvolvimento, e Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2006.

CIMA. Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool. **Resolução nº 1**, de 04 de março de 2015. Publicada no D.O.U, de 06/05/15, Pag. 17. Brasília, 2015.

CLEVA, R.; LAUDANNA, A. **Diagnóstico e Tratamento**. São Paulo: Manole Ltda, 2007.

CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 003**, de 28 de julho de 1990. Publicada no D.O.U, de 22/08/90, Pag. 15.937 a 15.939. Brasília, 1990.

CONCEIÇÃO. **Camadas da Atmosfera**. Itajaí, 2013. Disponível em:<<http://geoconceicao.blogspot.com.br/2012/03/floresta-e-o-ar-publicado-pela-afubra.html>> Acesso em: 08 de maio de 2017.

CORREA, J. M.; FARRET, F. A.; CANHA, L. N. **An Analysis the Dynamic Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cells Using an Electrochemical Model**. Industrial Eletronics Society: New York, NY, USA, 2001.

DETRAN-RS, Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul, **Frota do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2017. Disponível em <<http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/27453/frota-do-rs>> Acesso em 16 de abril de 2017.

DENATRAN, Departamento Nacional de Trânsito, **Frota de Veículos 2017**. Brasília, 2017. <<http://www.denatran.gov.br/estatistica/610-frota-2017>> Acesso em 14 de setembro de 2017.

DULLIUS, A. Sustentabilidade Urbana Por Meio de Análise de Tecnologias Renováveis no Transporte Público da Cidade de Curitiba. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS. **Científica**. Curitiba, agosto de 2017.

EPA, United States Environmental Protection Agency. **Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2012**. Washington, DC, USA, 2014.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2021**, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>> Acesso em 18 de maio de 2017.

FORSTER, P. et al. **Changes in atmospheric constituents and in radioactive forcing**. The Physical Science Bases. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

FRANKM, J. et al. **Introdução a exploração e produção de hidrocarbonetos**. Rio de Janeiro: Campus - Eselvier, 2012.

GHG Protocol, Programa Brasileiro Greenhouse Gas Protocol. **Ferramenta de Cálculo**. São Paulo, 2017. < <http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>> Acesso em 20 de outubro de 2017.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. Revista Estudos Avançados. **Estudos Avançados**. São Paulo, novembro de 2006.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Frota de Veículos**. Brasília, 2016. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php>> Acesso em: 28 de Agosto de 2017.

INEA, Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório Anual de Qualidade do Ar**. Rio de Janeiro, 2007.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fourth Assessment Report: Climate Change**. Geneva, SWZ, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/spm.html> Acesso em: 07 de maio de 2017.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fifth Assessment Report: Climate Change**. Geneva, SWZ, 2015.

JACOBSON, M. Z. Control of fossil-fuel particulate black carbon and organic matter, possibly the most effective method of slowing global warming. **Journal OF Geophysical Research**. Palo Alto, CA, USA, outubro de 2002.

LAURINDO, J. C.; BUSSYGUIN, G. In: **Congresso Brasileiro de Soja**. Londrina: Embrapa-Soja, 1999.

LOPES, M. V. C.; KRUGUER, V. **Poluição do Ar e Lixo**. Porto Alegre: SE/CECIRS, 1997.

LORA, E. E. S. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**. Brasília: ANEEL, 2000.

LYRA, D. G. P. **Modelo Integrado de Gestão da Qualidade do Ar da Região Metropolitana de Salvador**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MANZOLI, A. **Análise das emissões veiculares em trajetos urbanos curtos com localização por GPS**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Carlos, São Paulo, 2009.

MARSCHALL, S. R.; GREGANTI, M. A. **Netter Medicina Interna**. São Paulo: Elsevier Editora Ltda, 2010.

MARTENS, P.; ROTMANS, J. **Climate change: an integrated perspective**. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Holanda, 1999.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 75**, de 05 de março de 2015. Publicada no D.O.U, de 06/05/15, Pag. 17. Brasília, 2015.

MAZIERO, J. V. G. **Avaliação de Emissões Poluentes de um Motor Diesel Utilizando Biodiesel de Girassol como Combustível**. Engenharia na Agricultura. Viçosa, 2006.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissões de Dióxido de carbono por Queima de Combustíveis: Abordagem Top-Down**. Brasília, 2010.

MCT, Ministério de Ciência e Tecnologia. **Emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético**. Brasília, 2006.

MELO, T.; KRONENBERG, S.; SIQUEIRA, D. **Comparação de resultados de emissões e consumo entre veículos híbridos e veículos nacionais utilizando gasolina com adição de etanol**. Brasília, 2004.

MENDES, F. E. **Avaliação de programas de controle e poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

MENDES, L. I.; TAMDJIAN, O. J. **Geografia Geral do Brasil: volume único**. São Paulo: FTD S.A, 2005.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVERA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MIRANDA, M. M. **Fator de Emissão de Gases de Efeito Estufa da Geração de Energia Elétrica no Brasil: Implicações da Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 13.263**, de 23 de março de 2016. Publicada no D.O.U, de 24/03/16, Pag. 1. Brasília, 2016.

MORALES, L. L. D. **Estudo preliminar para a utilização de veículos híbridos na frota do transporte público do Distrito Federal.** Distrito Federal, 2015.

ODEBRECHT, **Manual de Cálculo para o Inventário de Emissões Atmosféricas de Gases de Efeito Estufa (GEE).** Salvador, 2010.

POZZAGNOLO, M. **Análise das Emissões de Gases em Veículos Automotores do Ciclo Otto.** Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2013.

QUEIROZ, J. F. **Introdução do veículo híbrido no Brasil: Evolução tecnológica aliada à qualidade de vida.** Dissertação - Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ROSA, L. P. et al. **Geração de Energia a partir de Resíduos Sólidos Urbanos e Óleos Vegetais.** Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

SILVEIRA, I. B. **Produção de Biodiesel.** São Paulo: Biblioteca 24h.com, 2011.´

SOUZA, F. W., **Estimativa da exposição e risco de câncer a compostos carbonílicos e BTEX em postos de gasolina na cidade de Fortaleza-CE.** Tese - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SUGUIO K. **Mudanças Ambientais da Terra.** São Paulo: Instituto Geológico, 2008.

TAVORA, F. L. **História e Economia dos Biocombustíveis no Brasil.** Centro de Estudos da Consultoria do Senado. Brasília, 2011

TECHNOLOGY SNAPSHOT. An Introduction by the U.S. Department of Energy. **Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.** Washington, DC, USA, 2003.

TORRES, P. T. F.; ROCHA, C. G.; RIBERIO, A. G. **Geociências Aplicadas: diferentes abordagens.** Uba: Geographia, 2008.

VESENTINI, W. J. **Geografia: serie Brasil. volume único.** São Paulo: Ática, 2003.

VIEIRA, R. N. **Poluição do ar: Indicadores ambientais.** Rio de Janeiro: E-papers, 2009.

VITERBO JUNIOR, E. **Sistema Integrado de Gestão Ambiental**. São Paulo: Aquariana Ltda., 1998.

WARDSAUTO. **The information Center For and About the Global Auto Industry**. New York, NY, USA, 2011.

ZILBERMAN, I. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Canoas: Ed. Ulbra, 1997.

ANEXOS

Tabela 3 - Fatores de emissão do CO₂ (g/Km).
(Continua)

Ano	Gasolina	Etanol	Diesel
1976 – 1980	211	164	692
1981	211	164	696
1982	211	164	699
1983	216	164	697
1984	216	164	704
1985	218	164	701
1986	217	164	707
1987	216	164	705
1988	218	164	703
1989	217	164	707
1990	216	164	707
1991	216	166	704
1992	216	166	704
1993	216	166	704
1994	216	166	704
1995	216	166	704
1996	216	166	704
1997	216	166	704
1998	214	173	696
1999	213	177	692
2000	212	178	688
2001	211	182	685
2002	198	191	685
2003	194	200	685
2004	190	190	685
2005	192	180	685
2006	174	195	683
2007	174	195	683
2008	201	175	683

Tabela 3 - Fatores de emissão do CO₂ (g/Km).
(Conclusão)

Ano	Gasolina	Etanol	Diesel
2009	222	171	683
2010	207	171	683
2011	198	170	683
2012	199	173	678
2013	220	169	678
2014 – 2016	205	165	678

Fonte: MCT (2006) e CETESB (2014).

Tabela 4 - Fatores de Emissão do N₂O (g/Km)

Ano	Gasolina	Etanol	Diesel
1976 - 1983	0,005	0,007	0,03
1984	0,004	0,007	0,03
1985 - 1993	0,004	0,006	0,03
1994	0,022	0,006	0,03
1995 - 2001	0,022	0,017	0,03
2002 – 2007	0,021	0,017	0,03
2008	0,024	0,017	0,03
2009	0,028	0,017	0,03
2010	0,027	0,017	0,03
2011 – 2012	0,024	0,017	0,03
2013	0,025	0,017	0,03
2014 – 2016	0,022	0,017	0,03

Fonte: CETESB (2014).

Tabela 5 - Fatores de Emissão do CH₄ (g/Km).
(Continua)

Ano	Gasolina	Etanol	Diesel
1976 – 1983	0,450	0,240	0,06
1984 – 1985	0,360	0,240	0,06
1986 – 1987	0,300	0,240	0,06
1988	0,255	0,240	0,06
1989	0,240	0,240	0,06

Tabela 5 - Fatores de Emissão do CH₄ (g/Km).
(Conclusão)

Ano	Gasolina	Etanol	Diesel
1990	0,210	0,195	0,06
1991	0,195	0,165	0,06
1992	0,190	0,090	0,06
1993	0,190	0,105	0,06
1994 – 1995	0,149	0,186	0,06
1996	0,100	0,160	0,06
1997	0,050	0,080	0,06
1998	0,035	0,051	0,06
1999	0,035	0,045	0,06
2000	0,032	0,048	0,06
2001	0,027	0,040	0,06
2002 – 2003	0,027	0,043	0,06
2004	0,027	0,045	0,06
2005	0,025	0,045	0,06
2006	0,017	0,032	0,06
2007	0,017	0,034	0,06
2008	0,014	0,031	0,06
2009	0,008	0,039	0,06
2010	0,007	0,050	0,06
2011	0,013	0,042	0,06
2012	0,006	0,038	0,06
2013	0,006	0,032	0,06
2014 – 2016	0,006	0,020	0,06

Fonte: CETESB (2014).

Tabela 6 - Fatores de Emissão CO (g/Km)
(Continua)

Ano	Gasolina	Etanol	Diesel
1976 – 1983	33	18	2,12
1984 – 1985	28	16,9	2,12
1986 – 1987	22	16	2,12

Tabela 6 - Fatores de Emissão CO (g/Km).
(Conclusão)

Ano	Gasolina	Etanol	Diesel
1988	18,5	13,3	2,12
1989	15,2	12,8	2,12
1990	13,3	10,8	2,12
1991	11,5	8,4	2,12
1992	6,2	3,6	2,12
1993	6,3	4,2	2,12
1994	6,0	4,6	2,12
1995	4,7	4,6	2,12
1996	3,8	3,9	2,12
1997	1,2	0,9	2,12
1998	0,79	0,67	2,12
1999	0,74	0,6	2,12
2000	0,73	0,63	1,90
2001	0,48	0,66	1,90
2002	0,43	0,74	1,04
2003	0,4	0,77	1,04
2004	0,35	0,82	0,96
2005	0,34	0,82	0,96
2006	0,3	0,49	1,16
2007	0,3	0,49	1,16
2008	0,37	0,56	1,02
2009	0,20	0,54	0,94
2010	0,20	0,51	0,95
2011	0,27	0,49	0,96
2012	0,27	0,47	0,26
2013	0,24	0,42	0,28
2014 – 2016	0,22	0,38	0,28

Fonte: CETESB (2014).

Tabela 7 - Fatores de Emissão do HC (g/Km).

Ano	Gasolina	Etanol	Diesel
1976 – 1983	2,55	1,36	0,77
1984 – 1985	2,04	1,36	0,77
1986 – 1987	1,7	1,36	0,77
1988	1,44	1,44	0,77
1989	1,36	1,36	0,77
1990	1,19	1,10	0,77
1991	1,11	0,93	0,77
1992	0,51	0,51	0,77
1993	0,51	0,59	0,77
1994	0,45	0,51	0,77
1995	0,45	0,51	0,77
1996	0,30	0,44	0,77
1997	0,15	0,22	0,77
1998	0,10	0,14	0,77
1999	0,10	0,12	0,77
2000	0,098	0,13	0,63
2001	0,083	0,11	0,63
2002	0,083	0,12	0,35
2003	0,083	0,11	0,35
2004	0,083	0,10	0,27
2005	0,075	0,10	0,27
2006	0,063	0,087	0,24
2007	0,063	0,087	0,24
2008	0,053	0,080	0,14
2009	0,020	0,037	0,13
2010	0,023	0,040	0,17
2011	0,028	0,044	0,15
2012	0,023	0,053	0,03
2013	0,019	0,051	0,02
2014 – 2016	0,016	0,053	0,02

Fonte: CETESB (2014).

Tabela 8 - Fatores de Emissão do NO_x (g/Km).

Ano	Gasolina	Etanol	Diesel
1976 – 1983	1,4	1,0	12,2
1984 – 1985	1,6	1,2	12,2
1986 – 1987	1,9	1,8	12,2
1988	1,8	1,4	12,2
1989	1,6	1,1	12,2
1990	1,4	1,2	12,2
1991	1,3	1,0	12,2
1992	0,6	0,5	12,2
1993	0,8	0,6	12,2
1994	0,7	0,7	12,2
1995	0,6	0,7	12,2
1996	0,5	0,7	12,2
1997	0,3	0,3	12,2
1998	0,23	0,24	12,2
1999	0,23	0,22	12,2
2000	0,21	0,21	7,69
2001	0,14	0,08	7,69
2002	0,12	0,08	7,51
2003	0,12	0,09	7,51
2004	0,09	0,08	6,31
2005	0,09	0,08	6,31
2006	0,07	0,05	5,39
2007	0,07	0,06	5,39
2008	0,04	0,05	5,34
2009	0,02	0,03	5,35
2010	0,03	0,04	5,32
2011	0,02	0,03	5,31
2012	0,02	0,03	1,65
2013	0,02	0,02	1,63
2014 – 2016	0,01	0,02	1,63

Fonte: CETESB (2014).

Tabela 9 - Fatores de Emissão do MP (g/Km).

Ano	Gasolina	Etanol	Diesel
1976 – 1996	0,02	-	0,75
1997 – 1999	0,01	-	0,75
1999	0,01	-	0,75
2000 – 2001	0,01	-	0,37
2002 – 2003	0,01	-	0,15
2004 – 2007	0,01	-	0,12
2008	0,01	-	0,094
2009	0,01	-	0,089
2010	0,01	-	0,089
2011	0,01	-	0,088
2012	0,01	-	0,015
2013	0,01	-	0,014
2014 – 2016	0,01	-	0,014

Fonte: CETESB (2014).

Tabela 10 - Frota Circulante do Estado do Rio Grande do Sul, por tipo de veículos e ano de fabricação.

(Continua)

Ano de Fabricação	Automóvel	Motocicleta, motoneta e ciclomotor	Caminhão	Ônibus e Microônibus	Utilitários, Caminhonetes e Camionetas
2016	79.129	17.954	2.553	320	29.963
2015	108.873	27.559	3.954	1.417	39.280
2014	161.750	38.924	9.582	2.091	56.520
2013	199.063	46.924	12.163	2.396	59.863
2012	193.945	52.575	8.508	2.293	50.085
2011	184.887	68.749	14.258	3.500	53.279
2010	173.309	54.949	12.538	2.622	45.058
2009	172.495	54.497	8.347	1.742	34.944
2008	154.348	102.580	9.330	2.972	32.156
2007	126.907	81.347	6.836	2.101	23.884

Tabela 10 – Frota Circulante do Estado do Rio Grande do Sul, por tipo de veículos e ano de fabricação.

(Continuação)

Ano de Fabricação	Automóvel	Motocicleta, motoneta e ciclomotor	Caminhão	Ônibus e Microônibus	Utilitários, Caminhonetes e Camionetas
2006	100.872	74.811	5.053	1.816	16.859
2005	94.639	63.294	6.022	1.628	16.676
2004	104.032	56.273	7.499	1.740	17.908
2003	95.145	55.738	5.811	1.330	13.942
2002	106.916	40.974	4.845	1.610	11.737
2001	115.527	34.642	6.484	2.362	16.417
2000	101.354	23.572	5.790	2.512	16.716
1999	88.255	16.845	4.867	1.571	12.042
1998	106.959	19.345	5.398	2.612	17.463
1997	141.226	24.817	6.012	2.766	19.432
1996	116.834	17.331	3.628	1.562	15.881
1995	119.345	13.249	6.525	1.652	15.444
1994	94.181	6.454	5.149	925	13.870
1993	79.829	4.755	3.733	1.060	12.623
1992	50.751	3.755	2.382	944	8.552
1991	50.979	7.913	4.455	1.016	8.989
1990	47.781	9.190	4.232	739	8.980
1989	47.623	10.667	4.541	663	9.376
1988	45.440	10.599	5.454	674	8.755
1987	32.835	10.063	5.219	592	6.841
1986	49.204	8.900	5.825	526	6.252
1985	42.618	8.604	4.218	287	5.596
1984	37.993	10.948	3.628	237	5.585
1983	41.479	14.264	2.853	377	4.865
1982	39.087	15.420	3.435	549	4.683
1981	35.598	9.060	5.550	451	3.604

Tabela 10 - Frota Circulante do Estado do Rio Grande do Sul, por tipo de veículos e ano de fabricação.

(Conclusão)

Ano de Fabricação	Automóvel	Motocicleta, motoneta e ciclomotor	Caminhão	Ônibus e Microônibus	Utilitários, Caminhonetes e Camionetas
1980	50.749	6.106	6.133	528	4.129
1979	49.502	3.126	5.678	510	3.837
1978	46.644	1.503	6.015	436	3.090
1977	41.362	822	5.916	410	3.110
1976	46.288	398	5.659	300	4.299

Fonte: DETRAN (2017).

Tabela 11 - Distância Média Percorrida (Km/ano).

(Continua)

Anos de Uso	Gasolina	Etanol	Diesel
0	7817	8860	26170
1	15635	17720	52341
2	16085	18539	49688
3	16186	18595	47515
4	16041	18139	45638
5	15752	17419	43983
6	15422	16683	42504
7	15154	16729	41164
8	15049	16311	39935
9	14957	15993	38789
10	14808	15680	37699
11	13565	14565	36643
12	13251	14094	35595
13	12912	13688	34534
14	12552	13338	33437
15	12176	13036	32021
16	11788	12772	31056
17	11394	12538	30241
18	11146	12325	29448
19	10892	12123	28675
20	10636	11926	27920
21	10379	11724	27180
22	10123	11507	26453
23	9870	11267	25738
24	9623	10996	25034

Tabela 11 – Distância Média Percorrida (Km/ano).
(Conclusão)

Anos de Uso	Gasolina	Etanol	Diesel
25	9383	10684	24340
26	9152	10324	23654
28	8727	9419	22312
29	8537	8857	21655
30	8365	8070	21009
31	8240	8068	20375
32	8126	8068	19756
33	8021	8068	19150
34	7928	8068	18563
35	7847	8068	17996
36	7146	8068	17452
37	7069	8068	16934
38	7017	8068	16446
39	7018	8068	16075
40	7018	8068	15574

Fonte: CETESB (2014).

Tabela 12 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a diesel da região centro-oeste no ano de 2016 (g).

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO	HC	NO _x	MP
DF	6,44E+12	2,82E+08	5,64E+08	9,69E+09	2,42E+09	5,47E+10	1,91E+09
GO	1,44E+13	6,32E+08	1,26E+09	2,24E+10	5,84E+09	1,27E+11	4,72E+09
MS	6,40E+12	2,8E+08	5,61E+08	9,61E+09	2,6E+09	5,4E+10	2,1E+09
MT	8,14E+12	3,56E+08	7,13E+08	1,28E+10	3,35E+09	7,22E+10	2,72E+09
Total	2,90E+13	1,55E+09	3,10E+09	5,45E+10	1,42E+10	3,08E+11	1,15E+10

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 13 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a diesel da região nordeste no ano de 2016 (g).

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO	HC	NO _x	MP
AL	2,68E+12	1,17E+08	2,35E+08	3,93E+09	1,04E+09	2,21E+10	8,12E+08
BA	1,54E+13	6,77E+08	1,35E+09	2,42E+10	6,33E+09	1,37E+11	5,11E+09
CE	8,76E+12	3,83E+08	7,67E+08	1,37E+10	3,56E+09	7,72E+10	2,87E+09
MA	4,58E+12	2,01E+08	4,01E+08	7,18E+09	1,86E+09	4,06E+10	1,51E+09
PB	3,68E+12	1,61E+08	3,23E+08	5,51E+09	1,49E+09	3,1E+10	1,203E+09
PE	9,75E+12	4,3E+08	8,54E+08	1,48E+10	4,04E+09	8,33E+10	3,27E+09

(Continua)

Tabela 13 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a diesel da região nordeste no ano de 2016 (g).

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO	HC	NO _x	MP
PI	3,44E+12	1,51E+08	3,01E+08	4,98E+09	1,31E+09	2,8E+10	1,02E+09
RN	3,94E+12	1,73E+08	3,46E+08	5,91E+09	1,6E+09	3,32E+10	1,29E+09
SE	2,20E+12	9,67E+07	1,93E+08	3,24E+09	8,56E+08	1,82E+10	6,64E+08
Total	5,45E+13	2,39E+09	4,77E+09	8,35E+10	2,21E+10	4,71E+11	1,77E+10

(Conclusão)
Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 14 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a diesel da região norte no ano de 2016 (g).

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO	HC	NO _x	MP
AC	9,51E+11	4,16E+07	8,34E+07	1,36E+09	3,57E+08	7,67E+09	2,77E+08
AM	3,57E+12	1,56E+08	3,13E+08	5,56E+09	1,42E+09	3,14E+10	1,15E+09
AP	7,60E+11	3,33E+07	6,66E+07	1,09E+09	2,85E+08	6,12E+09	2,24E+08
PA	6,39E+12	2,8E+08	5,6E+08	9,71E+09	2,64E+09	5,45E+10	2,14E+09
RO	3,47E+12	1,52E+08	3,04E+08	5,02E+09	1,31E+09	2,82E+10	1,01E+09
RR	8,95E+11	3,92E+07	7,84E+07	1,28E+09	3,35E+08	7,198E+09	2,63E+08
TO	2,60E+12	1,14E+08	2,28E+08	3,78E+09	9,91E+08	2,12E+10	7,66E+08
Total	1,87E+13	8,16E+08	1,63E+09	2,78E+10	7,34E+09	1,56E+11	5,83E+09

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 15 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a diesel da região sudeste no ano de 2016 (g).

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO	HC	NO _x	MP
ES	8,21E+12	3,6E+08	7,19E+08	1,25E+10	3,13E+09	7,06E+10	2,42E+09
MG	3,98E+13	1,74E+09	3,49E+09	5,99E+10	1,63E+10	3,37E+11	1,315E+10
RJ	2,22E+13	9,72E+08	1,94E+09	3,22E+10	8,49E+09	1,81E+11	6,65E+09
SP	1,05E+14	4,59E+09	9,18E+09	1,51E+11	3,97E+10	8,5E+11	3,09E+10
Total	1,75E+14	7,66E+09	1,53E+10	2,56E+11	6,76E+10	1,44E+12	5,31E+10

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 16 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a diesel da região sul no ano de 2016 (g).

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO	HC	NO _x	MP
PR	3,19E+13	1,4E+09	2,8E+09	4,62E+10	1,21E+10	2,6E+11	9,32E+09
RS	2,56E+13	1,12E+09	2,24E+09	3,85E+10	1,04E+10	2,17E+11	8,45E+09
SC	1,94E+13	8,5E+08	1,7E+09	2,8E+10	7,31E+09	1,57E+11	5,65E+09
Total	7,69E+13	3,37E+09	6,74E+09	1,13E+11	2,98E+10	6,34E+11	2,34E+10

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 17 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a gasolina da região centro-oeste no ano de 2016 (g).

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO	HC	NO _x	MP
DF	8,72E+12	8,76E+08	2,67E+09	1,43E+11	1,21E+10	1,16E+10	5,08E+08
GO	1,07E+13	1,11E+09	2,86E+09	1,51E+11	1,29E+10	1,24E+10	6,08E+08
MS	5,87E+12	6,07E+08	1,56E+09	8,19E+10	7,03E+09	6,74E+09	3,33E+08
MT	4,54E+12	4,74E+08	1,13E+09	5,87E+10	5,09E+09	4,89E+09	2,54E+08
Total	2,99E+13	3,07E+09	8,22E+09	4,35E+11	3,71E+10	3,56E+10	1,70E+09

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 18 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos à gasolina da região nordeste no ano de 2016 (g).

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO	HC	NO _x	MP
AL	3,74E+12	3,78E+08	1,1E+09	5,73E+10	4,89E+09	4,86E+09	2,16E+08
BA	1,73E+13	1,79E+09	4,48E+09	2,35E+11	2,03E+10	1,94E+10	9,76E+08
CE	1,56E+13	1,64E+09	3,84E+09	1,99E+11	1,73E+10	1,67E+10	8,77E+08
MA	8,93E+12	9,41E+08	2,07E+09	1,06E+11	9,3E+09	8,98E+09	4,94E+08
PB	5,87E+12	6,12E+08	1,48E+09	7,73E+10	6,68E+09	6,42E+09	3,3E+08
PE	1,35E+13	1,41E+09	3,49E+09	1,83E+11	1,58E+10	1,51E+10	7,64E+08
PI	6,01E+12	6,07E+08	1,72E+09	8,83E+10	7,6E+09	7,67E+09	3,46E+08
RN	3,51E+12	3,54E+08	1,05E+09	5,66E+10	4,77E+09	4,55E+09	2,03E+08
SE	3,56E+12	3,59E+08	1,04E+09	5,45E+10	4,65E+09	4,61E+09	2,05E+08
Total	7,82E+13	8,09E+09	2,03E+10	1,06E+12	9,13E+10	8,83E+10	4,41E+09

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 19 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos à gasolina da região norte no ano de 2016 (g).

	CO₂	N₂O	CH₄	CO	HC	NO_x	MP
AC	1,36E+12	1,38E+08	3,92E+08	2,02E+10	1,74E+09	1,75E+09	7,86E+07
AM	4,07E+12	4,21E+08	1,06E+09	5,57E+10	4,79E+09	4,59E+09	2,3E+08
AP	9,85E+11	9,93E+07	2,88E+08	1,5E+10	1,28E+09	1,27E+09	5,68E+07
PA	1,03E+13	1,09E+09	2,46E+09	1,27E+11	1,11E+10	1,07E+10	5,75E+08
RO	4,76E+12	4,81E+08	1,36E+09	6,996E+10	6,02E+09	6,08E+09	2,74E+08
RR	1,08E+12	1,1E+08	3,14E+08	1,62E+10	1,39E+09	1,39E+09	6,25E+07
TO	2,97E+12	3E+08	8,55E+08	4,41E+10	3,79E+09	3,81E+09	1,71E+08
Total	2,56E+13	2,64E+09	6,73E+09	3,48E+11	3,01E+10	2,96E+10	1,45E+09

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 20 - Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a gasolina da região sudeste no ano de 2016 (g).

	CO₂	N₂O	CH₄	CO	HC	NO_x	MP
ES	9,10E+12	9,17E+08	2,71E+09	1,43E+11	1,21E+10	1,19E+10	5,27E+08
MG	4,08E+13	4,19E+09	1,12E+10	5,93E+11	5,06E+10	4,85E+10	2,33E+09
RJ	2,92E+13	2,95E+09	8,61E+09	4,53E+11	3,85E+10	3,8E+10	1,69E+09
SP	7,66E+13	7,69E+09	2,32E+10	1,23E+12	1,04E+11	1,01E+11	4,45E+09
Total	1,56E+14	1,57E+10	4,57E+10	2,42E+12	2,05E+11	1,99E+11	9,00E+09

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 21 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos à gasolina da região sul no ano de 2016 (g).

	CO₂	N₂O	CH₄	CO	HC	NO_x	MP
PR	2,31E+13	2,32E+09	6,98E+09	3,71E+11	3,14E+10	3,05E+10	1,34E+09
RS	3,32E+13	3,39E+09	9,48E+09	5,06E+11	4,29E+10	4,1E+10	1,91E+09
SC	2,46E+13	2,48E+09	7,41E+09	3,92E+11	3,33E+10	3,25E+10	1,43E+09
Total	8,10E+13	8,19E+09	2,39E+10	1,27E+12	1,08E+11	1,04E+11	4,68E+09

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 22 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a etanol da região centro-oeste no ano de 2016 (g).

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO	HC	NO _x	MP
DF	7,34984E+11	6,55E+07	2,95E+08	1,04E+10	1,05E+09	1,01E+09	0
GO	7,75486E+12	6,98E+08	2,82E+09	9,47E+10	9,61E+09	9,03E+09	0
MS	1,75778E+12	1,58E+08	6,36E+08	2,13E+10	2,17E+09	2,03E+09	0
MT	4,84695E+12	4,38E+08	1,68E+09	5,5E+10	5,62E+09	5,23E+09	0
Total	1,51E+13	1,36E+09	5,43E+09	1,81E+11	1,85E+10	1,73E+10	0

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 23 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a etanol da região nordeste no ano de 2016 (g).

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO	HC	NO _x	MP
AL	4,35837E+11	3,89E+07	1,71E+08	5,81E+09	5,97E+08	5,84E+08	0
BA	3,68333E+12	3,32E+08	1,31E+09	4,37E+10	4,45E+09	4,16E+09	0
CE	1,75608E+12	1,59E+08	6,04E+08	1,97E+10	2,01E+09	1,87E+09	0
MA	4,95209E+11	4,49E+07	1,64E+08	5,23E+09	5,38E+08	4,94E+08	0
PB	1,0059E+12	9,09E+07	3,52E+08	1,16E+10	1,18E+09	1,102E+09	0
PE	2,35791E+12	2,13E+08	8,37E+08	2,78E+10	2,83E+09	2,64E+09	0
PI	3,35736E+11	3,01E+07	1,3E+08	4,34E+09	4,5E+08	4,43E+08	0
RN	3,16258E+11	2,82E+07	1,25E+08	4,39E+09	4,4E+08	4,2E+08	0
SE	3,4936E+11	3,12E+07	1,37E+08	4,66E+09	4,79E+08	4,68E+08	0
Total	1,07E+13	9,68E+08	3,83E+09	1,27E+11	1,30E+10	1,22E+10	0

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 24 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a etanol da região norte no ano de 2016 (g).

(Continua)

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	CO	HC	NO _x	MP
AC	6,0739E+10	5,44E+06	2,38E+07	7,898E+08	8,19E+07	8,04E+07	0
AM	4,44664E+11	4,01E+07	1,59E+08	5,31E+09	5,4E+08	5,05E+08	0
AP	1,1858E+10	1,06E+06	4,65E+06	1,58E+08	1,62E+07	1,59E+07	0
PA	4,1842E+11	3,79E+07	1,41E+08	4,55E+09	4,67E+08	4,31E+08	0
RO	2,81595E+11	2,52E+07	1,09E+08	3,64E+09	3,78E+08	3,72E+08	0

Tabela 24 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a etanol da região norte no ano de 2016 (g).

	CO₂	N₂O	CH₄	CO	HC	NO_x	MP
RR	2,1423E+10	1,92E+06	8,34E+06	2,8E+08	2,9E+07	2,84E+07	0
TO	4,08792E+11	3,66E+07	1,59E+08	5,32E+09	5,51E+08	5,41E+08	0
Total	1,65E+12	1,48E+08	6,05E+08	2,00E+10	2,06E+09	1,97E+09	0

(Conclusão)
Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 25 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a etanol da região sudeste no ano de 2016 (g).

	CO₂	N₂O	CH₄	CO	HC	NO_x	MP
ES	5,31808E+11	4,75E+07	2,1E+08	7,23E+09	7,38E+08	7,18E+08	0
MG	1,45209E+13	1,31E+09	5,38E+09	1,83E+11	1,85E+10	1,75E+10	0
RJ	6,00832E+12	5,36E+08	2,41E+09	8,41E+10	8,497E+09	8,22E+09	0
SP	6,46209E+13	5,76E+09	2,58E+10	8,99E+11	9,101E+10	8,82E+10	0
Total	8,57E+13	7,65E+09	3,38E+10	1,17E+12	1,19E+11	1,15E+11	0

Fonte: AUTOR (2017)

Tabela 26 – Emissões dos gases provenientes de veículos movidos a etanol da região sul no ano de 2016 (g).

	CO₂	N₂O	CH₄	CO	HC	NO_x	MP
PR	1,2681E+13	1,13E+09	5,06E+09	1,76E+11	1,78E+10	1,73E+10	0
RS	1,3531E+12	1,21E+08	5,15E+08	1,78E+10	1,79E+09	1,7E+09	0
SC	1,27413E+12	1,14E+08	5,07E+08	1,76E+10	1,78E+09	1,73E+09	0
Total	2,67E+13	1,37E+09	6,08E+09	2,11E+11	2,14E+10	2,07E+10	0

Fonte: AUTOR (2017)