

RELATÓRIO DE EMISSÕES
VEICULARES
DA GRANDE VITÓRIA

ANO BASE:

2023



GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO



GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO

RELATÓRIO DE **EMISSÕES**
VEICULARES DA GRANDE
VITÓRIA

ANO BASE:

2023



Cariacica
2025



**GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO**

José Renato Casagrande
Governador

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - SEAMA

Felipe Rigoni Lopes
Secretário



**INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE
E RECURSOS HÍDRICOS**

Mario Stella Cassa Louzada
Diretor Geral

Gilberto Arpini Sipioni
Diretor Setorial Técnico

Rafael Almeida Lovo
Diretor Setorial Administrativo-Financeiro

Ficha técnica

Gerência de Controle e Licenciamento Geral – GGE

Delanie Lima da Costa Tienne - Engenheira Florestal
Gerente de Controle e Licenciamento Geral

Coordenação de Qualidade do Ar e Áreas Contaminadas - CQA

Vinicius Rocha Silva, Esp - Tecnólogo em Saneamento Ambiental
Coordenador de Qualidade do Ar e Áreas Contaminadas

Equipe técnica – Elaboração/revisão

Caroline dos Santos Machado, Ma. - Engenheira Química,
Agente de Desenvolvimento Ambiental e Recursos Hídricos

Franco Força Lima, Bel. - Engenheiro Químico
Agente de Desenvolvimento Ambiental e Recursos Hídricos

Mariana Guedes Guimarães, Ma. - Engenheira Ambiental
Agente de Desenvolvimento Ambiental e Recursos Hídricos

Takahiko Hashimoto Junior, Esp. - Engenheiro Ambiental
Agente de Desenvolvimento Ambiental e Recursos Hídricos

Equipe Técnica - Apoio Técnico

Carolina Francisco Tonani, Ma. - Tecnóloga em Saneamento Ambiental
Tecnóloga em Saneamento Ambiental

Fernanda Soares Benvindo, Ma. - Engenheiro Química
Agente de Desenvolvimento Ambiental e Recursos Hídricos

Ingrid Ananias Silveira Vieira, Esp. - Engenheira civil.
Agente de Desenvolvimento Ambiental e Recursos Hídricos

Jessé Lourenço Souza Caitano - Técnico em Químico
Técnico de Desenvolvimento Ambiental e Recursos Hídricos

Vitor de Oliveira Mateus, Me. – Engenheiro Ambiental
Agente de Desenvolvimento Ambiental e Recursos Hídricos

Luana Borchardt Hencker, Esp. - Engenheira Ambiental
Agente de Desenvolvimento Ambiental e Recursos Hídricos

Apresentação

É com satisfação que apresentamos o Relatório de Emissões Veiculares da Região Metropolitana da Grande Vitória, referente ao ano-base de 2023. Este documento é fruto de um trabalho técnico e científico, realizado pelo IEMA, que reafirma o compromisso do Governo do Estado com a transparência, a saúde da população capixaba e com o desenvolvimento sustentável.

A partir de dados levantados junto ao Detran-ES, à Agência Nacional do Petróleo e à Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo, analisamos a frota circulante, o consumo real de combustíveis e aplicamos metodologias consolidadas, como as utilizadas pela Cetesb e pelo Inventário Nacional de Emissões Veiculares. Isso nos permitiu estimar com precisão as emissões de poluentes como monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, material particulado e hidrocarbonetos.

Ao tornar públicas essas informações, damos à sociedade capixaba condições de conhecer a qualidade do ar que respira e acompanhar, com base técnica sólida, as ações para sua melhoria. Esse é mais um passo na direção de um futuro mais saudável, equilibrado e sustentável para todos nós.

Mário Stella Cassa Louzada

Diretor-geral

IEMA

Listas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Poluentes inventariados por categoria de veículo e combustível.....	14
Tabela 2: Densidade demográfica na RMGV em 2022.....	20
Tabela 3: Frota registrada da Região Metropolitana da Grande Vitória para fins de cálculo das emissões.....	21
Tabela 4: Termos específicos utilizados no inventário.	28
Tabela 5: Definição das categorias de veículos aplicadas neste inventário.	30
Tabela 6: Percentual da categoria de Caminhões conforme INEV.	32
Tabela 7: Percentual da categoria de ônibus conforme INEV.	32
Tabela 8: Taxas anuais de sucateamento para motocicletas.....	34
Tabela 9: Fatores de emissão de CO, NO _x , NMHC e CH ₄ para veículos movidos a GNV.	38
Tabela 10: Emissões de escapamento veicular por categoria de veículo.....	47
Tabela 11: Emissões Evaporativas de NMHC por categoria de veículo.....	54
Tabela 12: Emissões de escapamento por combustível (kg/ano).	55
Tabela 13: Emissões de escapamento por combustível (% em relação ao total para cada combustível).....	56
Tabela 14: Emissões de Material Particulado por desgaste de pneus e freios.....	59
Tabela 15: Emissões de Material Particulado por desgaste da pista.	60
Tabela 16: Estimativas das emissões totais de Material Particulado (kg/ano).	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Percentual da frota da RMGV utilizada para fins de cálculo das emissões. .	22
Gráfico 2: Percentual da Frota registrada da RMGV por combustível.	23
Gráfico 3: Percentual do tipo de combustível para cada categoria de veículo.	24
Gráfico 4: Percentual da frota diesel na Região Metropolitana da Grande Vitória.....	24
Gráfico 5: Volume dos combustíveis gasolina C, etanol hidratado e diesel comercializado na RMGV durante o ano de 2023.....	26
Gráfico 6: Percentual das emissões veiculares por escapamento na Região Metropolitana na Grande Vitória, ano base 2023.	48
Gráfico 7: Percentual das emissões de CO por escapamento por categoria de veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória.....	49
Gráfico 8: Percentual das emissões de NO _x por escapamento por categoria de veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória.....	50
Gráfico 9: Percentual das emissões de SO ₂ por escapamento por categoria de veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).	51
Gráfico 10: Percentual das emissões de CH ₄ por escapamento por categoria de veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).	51
Gráfico 11: Percentual das emissões de HCT por escapamento por categoria de veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).	52
Gráfico 12: Percentual das emissões de NMHC por escapamento por categoria de veículo na Região metropolitana da Grande Vitória.	53
Gráfico 13: Percentual das emissões Evaporativas de NMHC por categoria de Veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória.....	54
Gráfico 14: Percentual das emissões Evaporativas por tipo de emissão.	55
Gráfico 15: Percentual das emissões de escapamento por combustível.	57
Gráfico 16: Percentual das emissões de MP _{2,5} por escapamento por categoria de veículos da RMGV.....	58
Gráfico 17: Percentual das emissões de Material Particulado por fonte de emissão.....	61

GLOSSÁRIO

ANP - Agência Nacional de Petróleo, biocombustíveis e Gás Natural

ARSP - Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CH₄ - Metano

CO - Monóxido de carbono

GNV - Gás Natural Veicular

HCT - Hidrocarbonetos totais

MMAMC - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

NO_x - Óxido de nitrogênio

NMHC - Hidrocarbonetos não metano

NMHC_{escap} - Hidrocarbonetos voláteis oriundo do escapamento

OMS - Organização Mundial da Saúde

PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículo

PROMOT - Programa de Controle da Poluição Veicular do Ar por Motocicletas e Veículos

Similares

MP_{2,5} - Material Particulado menor ou igual a 2,5 micrometros de diâmetro

MP₁₀ - Material Particulado menor ou igual a 10 micrometros de diâmetro

PTS - Partículas Totais em Suspensão

RMGV - Região Metropolitana da Grande Vitória

SO₂ - Dióxido de enxofre

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	10
1.1.	Apresentação Geral.....	10
1.2.	A Política Nacional de Qualidade do Ar	11
1.3.	Poluentes Atmosféricos Inventariados	13
1.4.	Combustíveis	15
1.4.1.	Gasolina	16
1.4.2.	Etanol.....	16
1.4.3.	Gás Natural Veicular – GNV.....	17
1.4.4.	Diesel.....	18
2.	ÁREA DE ESTUDO, DADOS DE FROTA E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	19
2.1.	Caracterização da Região Metropolitana da Grande Vitória	19
2.2.	Frota da Região Metropolitana da Grande Vitória	21
2.3.	Volume de Combustíveis Comercializado na Região Metropolitana da Grande Vitória	25
3.	METODOLOGIA.....	28
3.1.	Frota Registrada.....	29
3.2.	Estimativa da Frota Circulante	32
3.3.	Curvas de Intensidade de Uso	34
3.4.	Fatores de Emissão	36
3.5.	Estimativas das Emissões Veiculares	39
3.5.1.	Estimativas das Emissões por Escapamento	39
3.5.2.	Estimativas das Emissões por Desgaste de Pneus, Freios e da Pista	41
3.5.3.	Estimativa das Emissões Evaporativas.....	42
4.	RESULTADOS	45
5.	CONCLUSÕES.....	62
6.	RECOMENDAÇÕES	64
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	66

1. Introdução

1.1. Apresentação Geral

A qualidade do ar nos grandes centros urbanos pode ser considerada como o produto de diversos fatores, mas depende principalmente das características das fontes de emissão presentes, as quais podem ser tanto de origem natural como de origem antrópica (emissões veiculares, indústria, comércio, construção civil e outras), da topografia da região e das condições meteorológicas. Nas grandes regiões metropolitanas é comum verificar o crescimento urbano, a presença de processos industriais, a geração de energia e o aumento da motorização pelo setor rodoviário como as principais fontes de poluentes atmosféricos, situação essa que desperta cada vez mais preocupação das autoridades de saúde pública e órgãos ambientais.

Segundo a Organização Mundial da Saúde – OMS, 'quase toda a população do mundo (99%) respira ar que excede os limites de qualidade recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), o que ameaça a sua saúde'¹.

Frente a esse contexto, as emissões de poluentes atmosféricos provenientes do setor rodoviário podem contribuir de forma significativa no comprometimento da qualidade do ar, em especial em áreas densamente povoadas. A queima de combustíveis fósseis, o desgaste de pneus, freios e pistas de rodagem, bem como os processos evaporativos do combustível associados às variações de temperatura, constituem os principais fatores contribuintes das fontes desse setor.

Dentre os poluentes atmosféricos emitidos, o Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Dióxido de Enxofre (SO₂), Material Particulado (MP_{2,5} e MP₁₀), Hidrocarbonetos Totais, Metano (CH₄) e Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC), são comumente associadas às emissões veiculares. Tais poluentes interferem diretamente na qualidade do ar, podendo causar efeitos diversos à saúde humana, prejuízos à qualidade de vida das pessoas, bem como reduzir a vida útil dos materiais (corrosão), além de prejuízos ao solo e às águas. Diante deste cenário, o conhecimento e a quantificação das fontes de emissão veicular torna-se uma estratégia fundamental para o estabelecimento de planos e ações direcionadas ao controle de poluição

¹ Fonte: <https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre>. Acesso em 15/07/2025

atmosférica, apresentando-se como uma importante ferramenta no controle de gestão da qualidade do ar.

O presente relatório tem por objetivo apresentar o Inventário de Emissões Veiculares - IEV da Grande Vitória, tendo por base o ano de 2023, a partir das informações obtidas em parceria com o Departamento Estadual de Trânsito do Espírito Santo (Detran), utilizando-se de metodologia consolidada, de modo a viabilizar não somente as estimativas das emissões provenientes de fontes móveis (veículos leves, motocicletas e pesados), como também oferecer subsídios para a criação de políticas públicas voltadas à melhoria da qualidade do ar na Região da Grande Vitória.

O IEV da Grande Vitória busca atender às diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Qualidade do Ar (Lei nº 14850/2024 de 02 de maio de 2024) e pela Política Estadual de Qualidade do Ar (Lei nº 12059/2024 de 27 de março de 2024), e pode ser entendido como uma ferramenta estratégica para elaboração de planos de controle de poluição veiculares, bem como formulação de novas políticas relacionadas às emissões veiculares, além de permitir acompanhar a evolução das emissões ao longo do tempo e avaliar o impacto das medidas já adotadas pelos órgãos gestores.

1.2. A Política Nacional de Qualidade do Ar

A lei nº 14850/2024 de 02 de maio de 2024, que Estabelece a Política Nacional de Qualidade do Ar, trata as emissões veiculares como uma das principais fontes móveis de poluição que devem constar nos inventários de fonte. A referida lei estabelece ainda uma série de planos tais como o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve); o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (Promot); o Programa de Sucateamento e de Reciclagem de Veículos e de Renovação de Frotas de Veículos Automotores (Renovar); e o Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso (I/M).

Instituído pela Resolução CONAMA nº 18/1986, o Proconve estabeleceu limites máximos de emissões por meio de fases para diferentes modelos de veículos comercializados no mercado brasileiro, basicamente para automóveis, veículos comerciais leves e veículos pesados, incluindo caminhões e ônibus. Essas fases foram se tornando cada vez mais restritivas ao longo dos anos, trazendo um impacto positivo na redução das emissões por veículos automotores, apesar do aumento da frota de veículos automotores, e, conseqüentemente, para a melhoria da qualidade do ar, sobretudo nos grandes centros urbanos. Além disso, o programa contribuiu para promover o desenvolvimento tecnológico do País, especialmente a modernização e diversificação do parque industrial automotivo e de toda a sua cadeia produtiva.

Para a regulamentação das emissões provenientes de motocicletas, motociclos e similares, foi instituído o Promot em 2002, por meio da resolução CONAMA nº 297/2002. De maneira análoga ao Proconve, o Promot evoluiu por meio de fases estabelecendo padrões máximos de emissão cada vez mais rigorosos ao longo dos anos.

O "Programa de Sucateamento e Reciclagem de Veículos e Renovação de Frotas" (Renovar) é uma iniciativa do governo federal que visa retirar de circulação veículos antigos, com foco em caminhões e ônibus, para substituí-los por modelos mais novos e eficientes, promovendo a sustentabilidade e a segurança no transporte. O programa incentiva a reciclagem dos veículos antigos, contribuindo para a economia circular e a redução de impactos ambientais. O programa é amparado pela Lei nº 14.440/2022 e pelo Decreto nº 11.276/2022. A Lei 14.440 institui o Programa Renovar, enquanto o Decreto 11.276 regulamenta a lei e estabelece as regras para o programa. Como mecanismo de desconto patrocinado na aquisição de veículos sustentáveis, foi publicada a Medida Provisória 1175/2023, que traz o funcionamento de descontos para aquisição de veículos, tendo como contrapartida a destinação dos veículos com mais de 20 anos para a reciclagem.

De maneira a assegurar os limites de emissões de poluentes homologados pelos fabricantes de veículos e garantir a continuidade e durabilidade das emissões especificadas, o Proconve estabeleceu o Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso (Programa I/M). Tal programa visa identificar desconformidades nos veículos em uso, assegurando que a população mantenha os mesmos em conformidade com as especificações técnicas homologadas pelos fabricantes durante toda a vida útil dos veículos, mediante ao plano de manutenção preventiva recomendados.

Como resultado, a Política Nacional de Qualidade do Ar, por meio do Proconve e Promot, vem promovendo a redução das emissões de poluentes atmosféricos provenientes de veículos automotores ao longo dos anos e o desenvolvimento tecnológico do país. Além disso, a Política Nacional também busca conscientizar a sociedade em relação à poluição do ar por meio de programas como o de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso (Programa I/M) e reduzir os impactos ambientais, atualizando a frota de veículos em circulação e retirando de circulação veículos antigos que causam maiores impactos, por meio do Programa Renovar.

1.3. Poluentes Atmosféricos Inventariados

A queima de combustível pela combustão completa para a geração de energia ocorre quando há oxigênio suficiente disponível para reagir completamente com o combustível, gerando produtos como Dióxido de Carbono (CO₂), vapor d'água (H₂O) e Nitrogênio (N₂). No entanto, em veículos automotores reais, a relação combustível/ar não possibilita somente a combustão completa, mas também a combustão incompleta. Os produtos da combustão incompleta, assim como os produtos relacionados à existência de impurezas nos combustíveis, são classificados como poluentes atmosféricos, sendo emitidos em maior ou menor quantidade, dependendo do combustível utilizado, do tipo de motor, da idade do veículo, da regulagem dos pneus, do estado de manutenção do veículo e da velocidade aplicada. Dentre os poluentes emitidos pela queima incompleta, tem-se: Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Óxidos de Enxofre (SO_x), Aldeídos, Material Particulado (MP), Hidrocarbonetos Totais (HCT), Metano (CH₄) e Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC).

No presente inventário, os poluentes inventariados correspondem a Material Particulado (MP), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Dióxido de Enxofre (SO₂), Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC), Metano (CH₄) e Hidrocarbonetos Totais (HCT) relacionados à queima de combustíveis. Além disso, tem-se ainda, as emissões evaporativas de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) e emissões de Material Particulado nas frações de partículas PTS, MP_{2,5}, MP₁₀ provenientes de desgaste de pneus, freios e da pista.

Na Tabela 1, que segue, são apresentados os poluentes atmosféricos conforme a categoria inventariada e o tipo combustível utilizado.

Tabela 1: Poluentes inventariados por categoria de veículo e combustível.

Poluentes	Automóveis/ Comerciais leves do Ciclo Otto		Motocicletas		Veículos do Ciclo Diesel	Veículos a GNV
	Gasolina C	Etanol hidratado	Gasolina C	Etanol hidratado		
Emissões de Escapamento						
Material Particulado (MP)*	✓	-	✓	-	✓	-
Monóxido de Carbono (CO)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	✓	-	✓	-	✓	-
NMHC _{escap} *	✓	✓	✓	✓	-	✓
Metano (CH ₄)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
HCT	✓	✓	✓	✓	✓	-
Emissões evaporativas						
NMHC _{evap} *	✓	✓	-	-	-	-
Emissões por desgaste de freios, pneus e pista						
Material Particulado (MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓

*MP: Material Particulado proveniente da queima de combustíveis;

NMHC_{escap}: Hidrocarbonetos não metano provenientes de emissões de escapamento;

NMHC_{evap}: Hidrocarbonetos não metano provenientes de emissões evaporativas.

Os poluentes atmosféricos provenientes do processo de exaustão (escapamento veicular) correspondem ao Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Material Particulado (MP), Hidrocarbonetos Voláteis oriundo do escapamento (NMHC_{escap}), Metano (CH₄), Dióxido de Enxofre (SO₂) e Hidrocarbonetos Totais (HCT).

É importante destacar que os poluentes MP, CO, NO_x, NMHC, CH₄ e HCT são regulamentados pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículo (Proconve),

enquanto que para as emissões de Dióxido de Enxofre (SO_2), o Proconve estabelece o teor máximo de enxofre presente no combustível. Da mesma forma, as emissões da categoria de veículos do ciclo Otto por processos evaporativos de Hidrocarbonetos Não-Metano ($\text{NMHC}_{\text{evap}}$) também são regulamentadas pelo Proconve. Já, as emissões de Material Particulado nas diferentes frações de partículas inventariadas (PTS, MP_{10} e $\text{MP}_{2.5}$) provenientes dos processos de desgaste de freios, pneus e pista não são regulamentados no Brasil, como em diversos outros países.

1.4. Combustíveis

O tipo de combustível e a qualidade do mesmo que é utilizado pelos veículos automotores influencia diretamente a quantidade de poluente que é emitido para a atmosfera. Combustíveis de baixa qualidade acarretam o aumento dos poluentes que são lançados na atmosfera, haja vista o aumento do consumo pelos veículos e a maior quantidade de impurezas.

Além de promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística como em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes, o Proconve contribui para a melhoria da qualidade dos combustíveis líquidos disponíveis para a frota nacional, sendo essencial para o desempenho do veículo e a durabilidade do motor, permitindo assim a redução de poluentes emitidos na atmosfera. A qualidade dos combustíveis pode ser avaliada por parâmetros como octanagem, viscosidade e ausência de impurezas.

Além do Proconve, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) busca promover a frequente melhoria dos combustíveis comercializados no País, por meio do levantamento de indicadores gerais da qualidade dos mesmos, além da identificação de produtos e serviços que não estão em conformidade com as especificações técnicas determinadas pela agência, evitando assim, adulteração e posterior comercialização de combustíveis.

O Ministério do Meio Ambiente, por meio do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), em colaboração com a Agência Nacional de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP) e a Associação Nacional do Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), têm empenhado esforços significativos para a busca da melhoria contínua da qualidade dos combustíveis comercializados no Brasil. Esses esforços têm gerado resultados expressivos na qualidade dos combustíveis, como a redução do chumbo da gasolina, adição de álcool à gasolina, contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis, e a redução gradual do teor de enxofre no óleo diesel e na gasolina (Corradini, 2005).

1.4.1. Gasolina

A gasolina é um combustível de origem fóssil obtido a partir do refino do petróleo, sendo que a sua composição depende do tipo de utilização e dos processos de refino. Dentre as suas características, é um líquido inflamável, volátil e para o consumo automotivo consiste de uma mistura de hidrocarbonetos contendo de 4 a 12 átomos de carbono.

A gasolina de uso veicular de boa qualidade e adequada ao consumo deve atender integralmente as especificações técnicas estabelecidas pela Resolução ANP nº 807/2020, independente de sua origem. A gasolina de uso veicular é o combustível de maior consumo no país, utilizada em motores do ciclo Otto, como por exemplo, automóveis, veículos comerciais leves e motocicletas. As refinarias, centrais petroquímicas e formuladores são autorizados a produzir gasolina A, sendo posteriormente comercializada aos distribuidores de combustíveis, onde é adicionado etanol anidro, cerca de 27 %, conforme estabelecido pela legislação vigente, para compor a gasolina C, única disponível nos postos revendedores.

Conforme citado por CETESB (2022), em 2014 a gasolina passou por algumas alterações em suas características, no qual houve a redução significativa do teor máximo de enxofre presente em sua composição, que passou de 800 mg/Kg para 50 mg/kg, acarretando a redução das emissões de Dióxido de Enxofre (SO₂) devido ao uso desse combustível. Além da redução do teor de enxofre, houve a redução de hidrocarbonetos olefinicos e aromáticos, propiciando a diminuição nas emissões de gases mais nocivos à saúde.

As principais substâncias poluentes lançadas na atmosfera por veículos automotores que utilizam gasolina como combustível consistem de Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Hidrocarbonetos, Compostos Orgânicos Voláteis, Material Particulado (MP), além de Óxidos de Enxofre (SO_x). Cabe destacar ainda, que os veículos leves (automóveis) são os maiores responsáveis pela emissão de Monóxido de Carbono (CO).

1.4.2. Etanol

O etanol, também denominado de álcool etílico, é um líquido claro, com odor característico, sendo altamente inflamável. Substância química com fórmula molecular C₂H₆O, é produzido, especialmente, via fermentação de açúcares, em especial, da cana-de-açúcar. É utilizada em vários produtos e processos, como por exemplo, em

motores de combustão interna, especificamente, motores do ciclo Otto, em substituição à gasolina.

O etanol combustível passou a ser utilizado no Brasil em larga escala desde o fim da década de 70, sob as formas de etanol anidro e etanol hidratado. O etanol anidro possui teor de água muito próximo de zero, sendo utilizado para compor a gasolina C, enquanto que o etanol hidratado possui teor de água próximo à 5 % em volume, sendo usado diretamente no abastecimento de veículos automotores. Ele pode ser utilizado em veículos movidos exclusivamente a etanol ou em veículos com motores que apresentam tecnologia *flex fuel*.

A qualidade satisfatória do etanol combustível é avaliada pela quantidade de metanol presente no etanol combustível. A resolução ANP nº 907/2022 estabelece que limite máximo permitido de metanol presente no etanol combustível é de 0,5% em volume. Tal obrigatoriedade foi estabelecida de modo a coibir o uso do metanol como adulterador do etanol combustível.

O etanol combustível, além de ser um combustível renovável devido sua origem, emite menos Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Hidrocarbonetos (HC) e Material Particulado (MP) que a gasolina. No entanto, pelo fato de possuir mais oxigênio em sua estrutura molecular, propicia a formação de hidrocarbonetos oxigenados, que aliado a emissão de NO_x, conduz a uma formação do smog fotoquímico e, conseqüentemente, a ozônio troposférico, que é um gás de efeito estufa de curta duração e prejudicial à saúde.

1.4.3. Gás Natural Veicular – GNV

O gás natural corresponde a um composto de hidrocarbonetos de baixo peso molecular que permanecem em estado gasoso nas condições atmosféricas normais. Sendo extraído de depósitos naturais, muitas vezes encontrado juntamente com o petróleo, é constituído essencialmente de Metano, com teores acima de 70% e, em menores proporções, etanol, propano e butano. Por outro lado, o Gás Natural Veicular (GNV) é uma mistura proveniente do gás natural ou do biometano, destinado ao uso veicular, tendo como componente principal o metano. É utilizado em motores do Ciclo Otto, ou seja, veículos que originalmente empregavam a gasolina e o etanol, e que posteriormente foram convertidos para o GNV.

As emissões de poluentes atmosféricos provenientes de veículos convertidos a GNV são bem menores quando comparado aos outros combustíveis fósseis como gasolina e diesel, devido à facilidade de combustão e à inexistência de enxofre, de

hidrocarbonetos pesados e de chumbo em sua composição. Além disso, no ambiente urbano, o uso adequado do gás natural veicular, se comparado com os combustíveis tradicionais, reduz expressivamente as emissões de Monóxido de Carbono (CO) e Óxidos de Nitrogênio (NO_x),

1.4.4. Diesel

O diesel é um combustível proveniente da destilação do petróleo bruto, sendo constituído basicamente por uma mistura complexa de hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 átomos de carbono e, em baixas concentrações, por enxofre, nitrogênio e oxigênio, além de aditivos específicos para aumentar seu desempenho. Sendo volátil e apresentando odor característico, é empregado principalmente em veículos rodoviários, para transporte de passageiros e de carga, no transporte marítimo, indústria para geração de energia e em diversas outras denominações.

A qualidade do diesel é estabelecida pelo teor de enxofre que o mesmo possui, sendo considerado de boa qualidade quanto menor for a quantidade de enxofre presente no combustível. No Brasil, o diesel comercializado é classificado em rodoviário e marítimo, sendo que para efeito deste inventário de emissões veiculares foi considerado apenas o diesel rodoviário. Para o transporte rodoviário são comercializados o diesel S500 e o diesel S10, com teores máximos de enxofre de 500 mg/kg e 10 mg/kg, respectivamente.

O óleo diesel B S500 foi desenvolvido para veículos leves e pesados antes de 2012. É um combustível indicado às tecnologias dos sistemas de combustão e de controle das emissões sem pós-tratamento, promovendo melhor custo x benefício nesse tipo de veículos. Já o óleo diesel S10, foi desenvolvido para veículos leves e pesados produzidos a partir de 2012, em atendimento às modernas tecnologias de combustão e de tratamento das emissões veiculares, promovendo maior eficiência energética e menor impacto ambiental, além da redução das emissões de óxidos de nitrogênio.

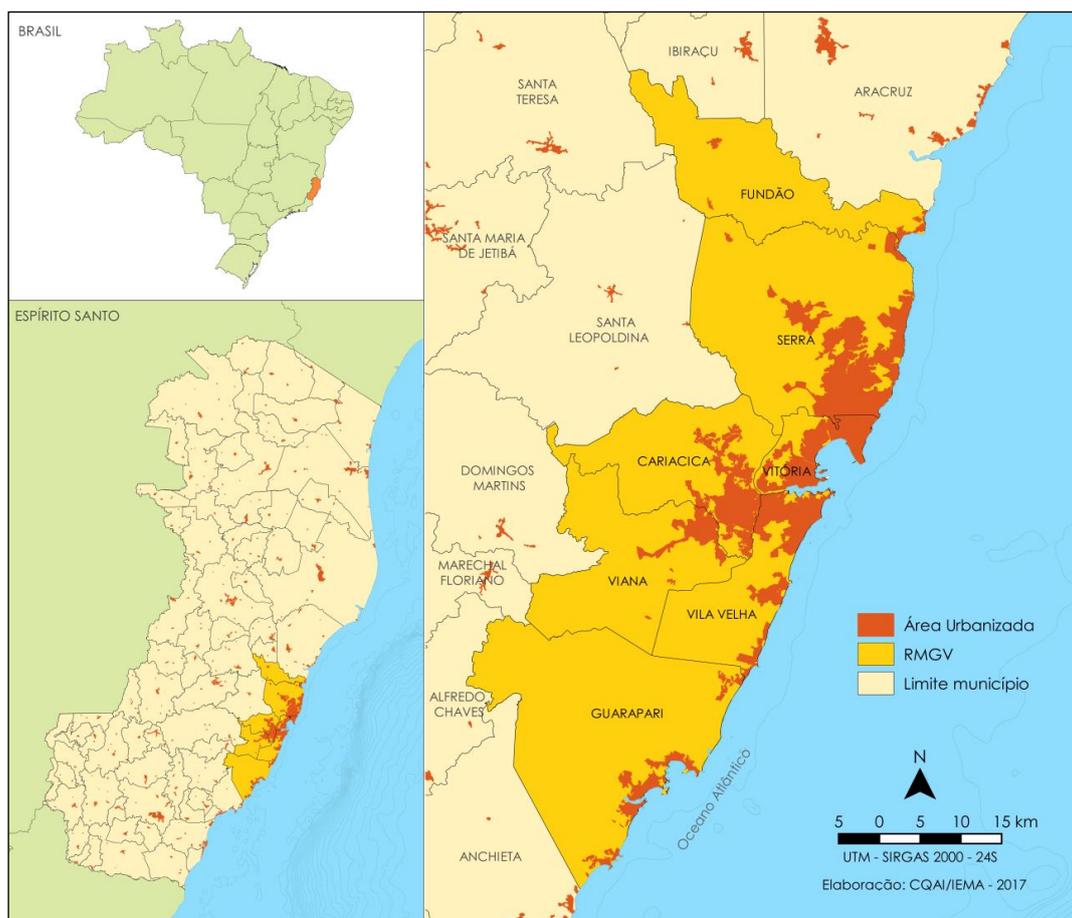
Os veículos automotores que utilizam o diesel como combustível emitem diversos poluentes atmosféricos durante o processo de queima. Entre os principais estão o Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Hidrocarbonetos (HC), Material Particulado (MP) e Dióxido de Enxofre (SO₂). Esses poluentes trazem sérios riscos à saúde humana e acarretam impactos ambientais significativos.

2. ÁREA DE ESTUDO, DADOS DE FROTA E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

2.1. Caracterização da Região Metropolitana da Grande Vitória

A Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) foi oficialmente criada pela Lei Complementar nº 58 de 1995, integrando os municípios de Vitória, Cariacica, Serra, Viana e Vila Velha. Posteriormente, foram incorporados os municípios de Guarapari, pela Lei Complementar nº 159 de 1999 e Fundão, pela Lei Complementar nº 204 de 2001. A RMGV possui 2.331 km² de extensão territorial, localizando-se na região sudeste do Estado, sendo banhado a Leste pelo Oceano Atlântico, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Localização da Região Metropolitana da Grande Vitória.



Fonte: IEMA (2025).

O relevo da RMGV é caracterizado por maciços rochosos, localizados nas porções oeste e sudoeste, correspondendo aos municípios de Cariacica, Guarapari e Viana,

formação de tabuleiros costeiros nas regiões de Serra e Fundão bem como baixadas e planícies que se distribuem irregularmente por toda zona costeira da RMGV.

O uso e ocupação do solo são diversificados, sendo constituído por grandes extensões de pastagens, fragmentos de mata atlântica, restingas, várzeas, manguezais e áreas urbanizadas, que correspondem a 13% de ocupação da área total da Região Metropolitana. A concentração urbana existente nesta região representa 55% da área urbanizada de todo Estado (IJSN, 2011).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE em seu último censo, realizado no ano de 2022², a RMGV tinha uma população de 1.880.712 habitantes, que representam 49% da população do Espírito Santo. Conforme apresentado na Tabela 2, o município de Serra é o mais populoso da Região Metropolitana (27,68%), seguido por Vila Velha (24,87%), Cariacica (18,79%) e Vitória (17,17%). A população dos municípios de Guarapari, Viana e Fundão representam 11,49% do total dos habitantes residentes na RGMV. A densidade demográfica nesta região é de 809,42 hab/km², sendo que o município de Vitória possui maior densidade demográfica (3.324,33 hab/km²) e Fundão a menor densidade (62,8 hab/km²) (IBGE, 2022).

Tabela 2: Densidade demográfica na RMGV em 2022.

Local	População (hab)			Área (km ²)	Densidade Demográfica (hab/km ²)
	Total	RMGV (%)	ES (%)		
Serra	520.653	27,68	13,58	547,631	950,74
Vila Velha	467.722	24,87	12,20	210,225	2.224,86
Cariacica	353.491	18,79	9,22	279,718	1.263,74
Vitória	322.869	17,17	8,42	97,123	3.324,33
Guarapari	124.656	6,63	3,25	589,825	211,34
Viana	73.423	3,90	1,92	312,279	235,12
Fundão	18.014	0,96	0,47	286,854	62,8
RMGV	1.880.828	100,00	49,06	2.323,66	809,42
Espírito Santo	3.833.712	-	-	46.074,45	83,2

Fonte: tabela extraída do Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar na Grande Vitória referente ao ano de 2024, com dados obtidos do IBGE (IBGE, 2022).

² Serão considerados para o presente relatório os dados do censo de 2022 por serem os dados oficiais mais recentes divulgados pelo IBGE

2.2. Frota da Região Metropolitana da Grande Vitória

De acordo com os dados disponibilizados pelo Detran-ES para o presente levantamento³, a frota total registrada na região Metropolitana da Grande Vitória no ano de 2023 inclui a categoria de automóveis, utilitários, caminhonete, camioneta, motoneta, reboque, semi reboque, triciclo, caminhão trator misto, trator de rodas, motocicletas, ônibus, micro-ônibus, caminhões, motor casa, veículos híbridos e elétricos, totalizando 1.051.678 veículos automotores. No entanto, para fins de cálculo, algumas categorias foram desconsideradas, a exemplo da categoria de veículos elétricos, reboque, semirreboque, visto que os mesmos não são responsáveis pela emissão de poluentes atmosféricos pelo processo de exaustão (escapamento veicular).

Portanto, excluídos os veículos sem emissão, a frota de veículos da Grande Vitória considerada para fins de cálculo para estimar as emissões veiculares totalizou 984.114 veículos em 2023, categorizados em automóveis, veículos comerciais leves, ônibus, micro-ônibus, caminhões e motocicletas, de acordo com o combustível utilizado. A frota está disponibilizada na Tabela 3.

Tabela 3: Frota registrada da Região Metropolitana da Grande Vitória para fins de cálculo das emissões.

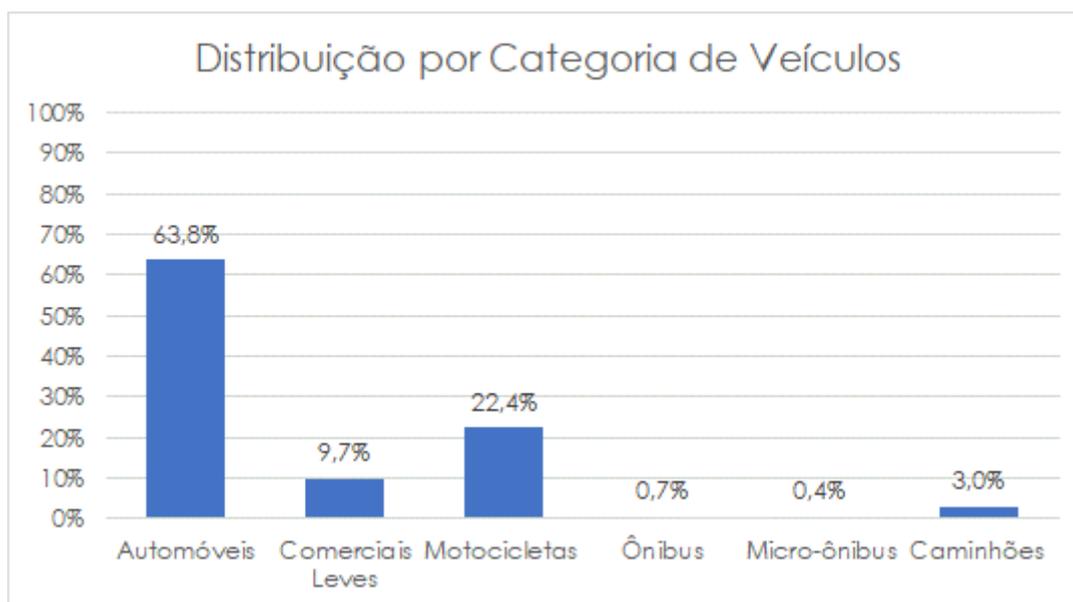
Categoria	Tipo/Combustível	Frota Registrada	Porcentual (%)
Automóveis	Gasolina	203.785	20,7
	Etanol	31.231	3,2
	<i>Flex Fuel</i>	361.060	36,7
	GNV	31.587	3,2
Comerciais Leves	Gasolina	15.588	1,6
	Etanol	1.774	0,2
	<i>Flex fuel</i>	36.288	3,7
	Diesel	42.050	4,3
Ônibus	Diesel	6.851	0,7
Micro-ônibus	Diesel	4.093	0,4
Caminhões	Diesel	29.364	3,0
Motocicletas	Gasolina	152.484	15,5
	<i>Flex Fuel</i>	67.959	6,9
Total		984.114	100

Fonte: Dados fornecidos pelo Detran-ES (Anexo I).

³ Dados fornecidos pelo Detran-ES, recebidos por e-mail no dia 12/02/2025. A tabela com os dados brutos é apresentada no Anexo I

O Gráfico 1 expõe o percentual de cada categoria de veículos presentes na Região da Grande Vitória que foi empregada para fins de cálculo das emissões veiculares. Dentre as categorias inventariadas, observa-se que a categoria de automóveis possui o maior percentual de veículos em relação ao total categorizado, seguido de motocicletas e veículos comerciais leves. Por sua vez, a categoria micro-ônibus apresenta o menor percentual em relação a frota total.

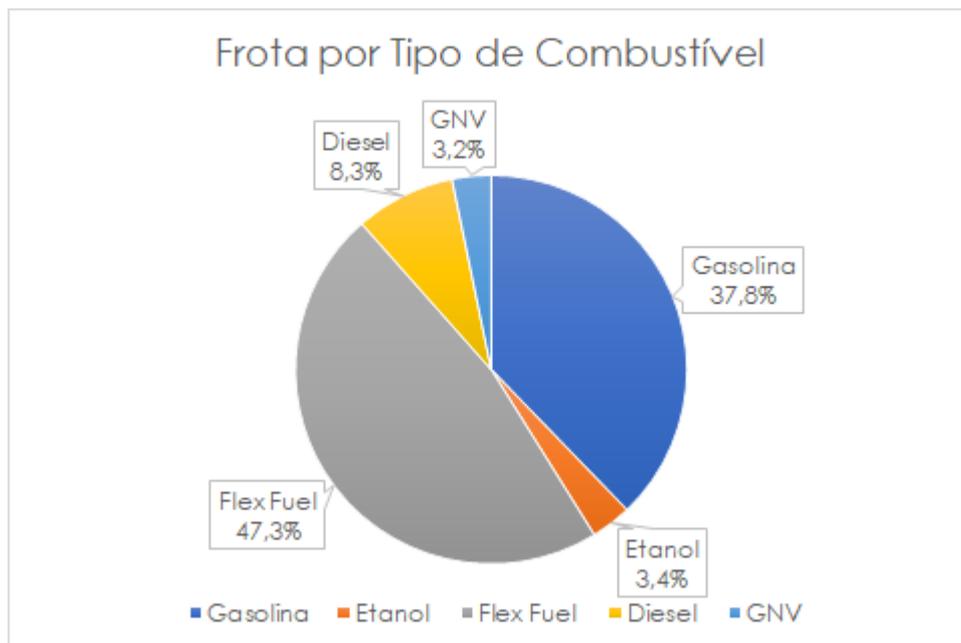
Gráfico 1: Percentual da frota da RMGV utilizada para fins de cálculo das emissões.



Fonte: Dados fornecidos pelo Detran-ES (Anexo I).

O percentual da frota categorizada por tipo de combustível é mostrado no Gráfico 2. Verifica-se que 47,3% dos veículos existentes da Região Metropolitana da Grande Vitória compõem-se de veículos que apresentam tecnologia *flex fuel*, seguido de veículos movidos a gasolina C, com 37,8%, e diesel, com 8,3%, enquanto que os veículos movidos a GNV representam o menor percentual em relação a frota circulante total, com 3,2%.

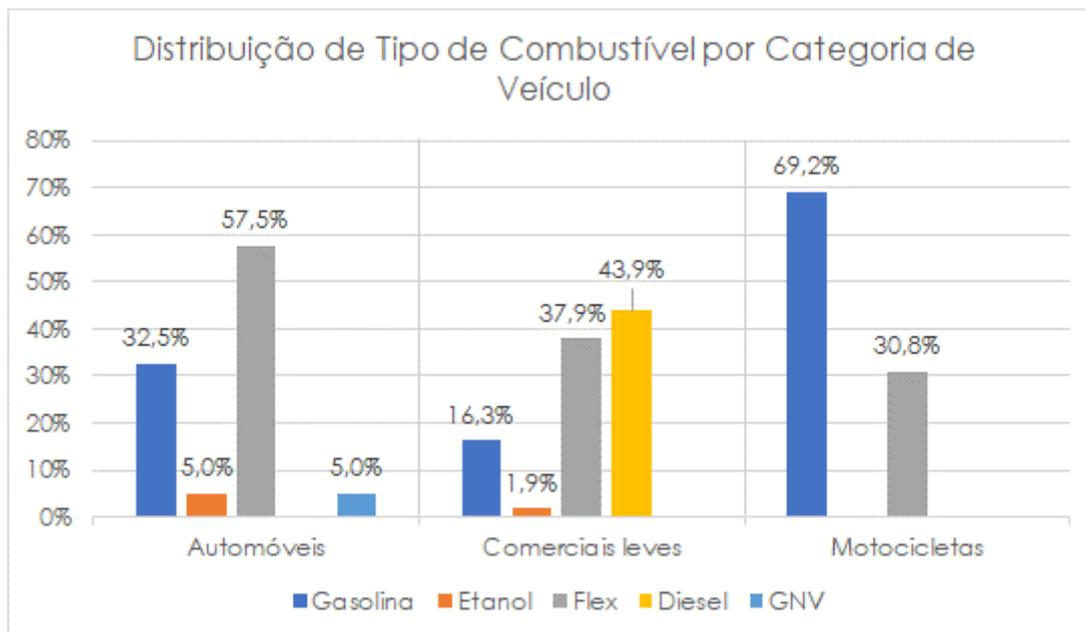
Gráfico 2: Percentual da Frota registrada da RMGV por combustível.



Fonte: Dados fornecidos pelo Detran-ES (Anexo I).

Na Região Metropolitana da Grande Vitória, tem-se observado o crescimento da frota veicular que apresenta tecnologia *flex fuel*, que inclui automóveis, veículos comerciais leves e motocicletas. A disponibilidade de veículos 'flex' permite ao proprietário do veículo a possibilidade de escolha para o abastecimento de mais de um tipo de combustível, o que auxilia na relação custo benefício, além da economia no consumo de combustível. Além disso, nos últimos anos, tem-se observado o aumento da disponibilidade de motocicletas com tecnologia *flex fuel*, devido ao seu custo mais acessível. No Gráfico 3 é mostrado o percentual de tipo de combustível da frota veicular para cada categoria de veículo. Dentre a categoria de automóveis, 57,5% são veículos que possuem tecnologia *flex*, enquanto que a categoria de comerciais leves e motocicletas corresponde a 37,9 e 30,8%, respectivamente.

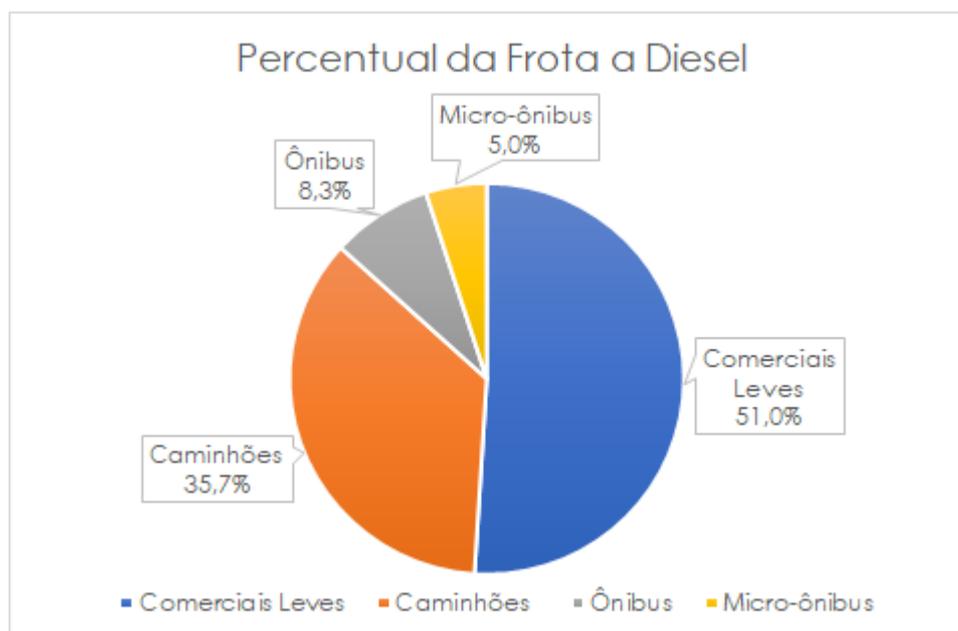
Gráfico 3: Percentual do tipo de combustível para cada categoria de veículo.



Fonte: Dados fornecidos pelo Detran-ES (Anexo I).

Os percentuais da frota veicular movida à diesel da Região Metropolitana da Grande Vitória, são mostrados no Gráfico 4. Conforme análise da mesma, 51,0% da frota compõe-se de veículos comerciais leves, 35,7% de caminhões, ao passo que, a categoria de micro-ônibus apresenta o menor percentual, com cerca de 5,0% da frota movida à diesel.

Gráfico 4: Percentual da frota diesel na Região Metropolitana da Grande Vitória.



Fonte: Dados fornecidos pelo Detran-ES (Anexo I).

2.3. Volume de Combustíveis Comercializado na Região Metropolitana da Grande Vitória

No Brasil, a categoria de automóveis utiliza, basicamente, combustíveis como gasolina C, gasolina C-etanol hidratado (*flex*), etanol hidratado e Gás Natural Veicular (GNV). A categoria de motocicletas utiliza gasolina C e misturas de Gasolina C-etanol hidratado (*flex*). Em relação a categoria de comerciais leves, pode utilizar gasolina C, etanol hidratado, gasolina C-etanol (*flex fuel*), enquanto, que a categoria ônibus, micro-ônibus e caminhões, de maneira geral, utilizam somente o diesel como combustível.

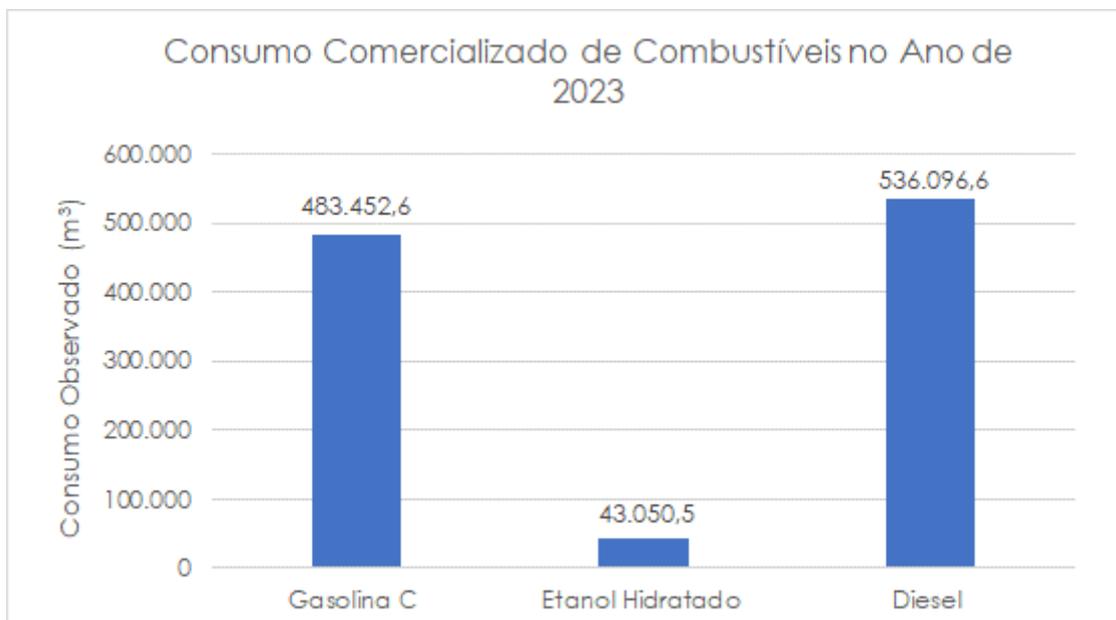
Para a realização dos cálculos para quantificar as emissões veiculares da região Metropolitana da Grande Vitória é necessário o conhecimento do consumo real comercializado para cada tipo de combustível na região geográfica de estudo. Esse consumo real mostra-se importante, pois por meio dele é possível fazer o ajuste no valor da intensidade de uso de referência que, posteriormente, será utilizada para estimar as emissões veiculares.

É importante destacar que a Região Metropolitana da Grande Vitória compreende os municípios de Vitória, Vila Velha, Serra, Fundão, Cariacica, Guarapari e Viana. No entanto, devido à indisponibilidade de dados para os municípios de Fundão, Guarapari e Viana, o volume de combustível do gás natural veicular (GNV) utilizado para fins de cálculo compreende somente os municípios de Vitória, Serra, Vila Velha e Guarapari. Além disso, para efeito deste inventário, foi considerado que o volume de combustível real comercializado na Região da Grande Vitória foi consumido no mesmo período e na região geográfica de estudo, não sendo contabilizados eventuais diferenças de estocagem entre o primeiro e o último dia do ano. No entanto, para o volume de diesel comercializado, pode ser que o valor obtido não corresponda exatamente ao diesel consumido na região geográfica de estudo, visto que os municípios da Serra, Viana, Vila Velha e Cariacica se caracterizam como um grande polo logístico do Espírito Santo. Localizando-se em uma região estratégica do Estado, próximo ao porto de Vitória e Capuaba e, sendo cortado pelas BRs 101 e 262, esses municípios atraem empresas de logística para a região, permitindo o acesso a toda região sudeste, que é a região mais desenvolvida do País. Além disso, o diesel pode ser utilizado em outras aplicações como, por exemplo, na construção civil, máquinas, autogeração de energia, e máquinas e tratores para a produção rural, não refletindo exclusivamente o que foi aplicado no transporte rodoviário.

No Gráfico 5 é apresentado o volume de combustível real comercializado no ano de 2023, denominado Consumo Observado, para a gasolina C, etanol hidratado e diesel (consumo observado referente ao ano base 2023) na Região Metropolitana da Grande

Vitória, conforme dados disponibilizados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Gráfico 5: Volume dos combustíveis gasolina C, etanol hidratado e diesel comercializado na RMGV durante o ano de 2023.



Fonte: ANP (2023).

Por sua vez, o volume comercializado de gás natural veicular (GNV) foi disponibilizado pela Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo – ARSP, totalizando 26.973.329 metros cúbicos. Embora todos os combustíveis apresentem seus volumes em metros cúbicos (m³), o GNV, por ser um combustível gasoso, possui uma densidade volumétrica significativamente diferente dos combustíveis líquidos. Isso implica que, mesmo quando comparados na mesma unidade de volume, o consumo de GNV aparenta ser muito maior do que o dos líquidos, ainda que sua participação no mercado seja menor. Por esse motivo, optou-se por não incluir o GNV no gráfico comparativo entre gasolina, etanol e diesel (Gráfico 5), de modo a evitar distorções na representação visual e garantir a coerência da análise.

Os automóveis, veículos comerciais leves e motocicletas são categorias de veículos cujo motores podem apresentar tecnologia *flex fuel*, ou seja, podem utilizar misturas em quaisquer proporções de gasolina C e etanol hidratado. Diante disso, é necessário contabilizar a porcentagem de veículos que optam pela utilização da gasolina ou etanol hidratado em veículos com tecnologia *flex fuel*. Para isso, é necessário o conhecimento da relação dos preços desses combustíveis. Geralmente, o proprietário de veículos do tipo *flex* escolhe o combustível (gasolina ou etanol) de acordo com a proporção entre preço e consumo. Em regras gerais, quando o preço do etanol é

inferior a 70% do preço da gasolina, costuma ser mais vantajoso, financeiramente, o abastecimento com etanol. Todavia, como o preço dos combustíveis pode variar dia a dia e como não foi realizado, para o presente estudo, levantamento dos preços ao longo do ano de 2023, estimamos a proporção de escolha entre esses combustíveis simplesmente dividindo o montante de consumo de cada combustível pela somatória do consumo entre gasolina e etanol. Assim, o percentual estimado dos que optaram pela gasolina corresponde a 91,9 %, enquanto que 8,1% optaram pelo etanol hidratado.

3. METODOLOGIA

Na busca pelos objetivos propostos, o presente inventário se utilizou de metodologias já consolidadas e amplamente utilizadas no Brasil, tanto pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb quanto pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro – INEA, além da metodologia empregada no Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória referente ao ano base 2015, o qual foi realizado pela empresa Ecosoft Consultoria e Softwares Ambientais Ltda para o próprio Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo - IEMA. A elaboração do inventário de emissões veiculares consiste na estimativa de emissões a partir do quantitativo e características dos veículos em circulação, das taxas de emissão observadas, bem como das informações de comércio e consumo dos combustíveis no ano de 2023.

A estimativa realizada considerou variáveis que são necessárias para um dimensionamento da frota e de suas características. Desta forma, antes de adentrar na metodologia empregada, serão apresentados e conceituados alguns termos específicos, conforme a Tabela 4, que segue, de modo a permitir e facilitar um melhor entendimento da metodologia adotada e conseqüentemente, obter uma melhor qualidade e avaliação dos resultados obtidos.

Tabela 4: Termos específicos utilizados no inventário.

Autonomia Específica	É a distância que o veículo percorre utilizando um determinado volume de combustível. No Brasil, é usualmente expressa na unidade quilômetros por litro (km/L).
Consumo Estimado de Combustível	É o volume de combustível que um veículo ou motor consome ao percorrer uma determinada distância ou ao produzir uma determinada quantidade de trabalho mecânico. É expresso pelo somatório do total de consumo de todos os combustíveis relatados (gasolina, etanol, diesel e GNV).
Consumo Observado de Combustível	Quantidade de combustível vendida em uma determinada região geográfica. Obtido a partir dos dados fornecidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Bicompostíveis (ANP) e pela Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo – ARSP.

Veículos <i>Flex Fuel</i> ou <i>flex</i>	Veículos cujo projeto permite o uso de gasolina, etanol ou quaisquer mistura entre os dois componentes.
Motor do Ciclo Otto	Motor de combustão interna que emprega o ciclo do tipo Otto. Normalmente é utilizado nos automóveis, motos e em alguns veículos comerciais leves que utilizam a gasolina C e etanol e nos veículos que apresentam tecnologia <i>flex fuel</i> .
Motor do Ciclo Diesel	Motor de combustão interna cuja queima do combustível ocorre devido ao aumento da temperatura provocada pela compressão do ar. Utiliza o combustível diesel, sendo que no Brasil normalmente é utilizado em caminhões, ônibus e em parte de veículos comerciais leves.

3.1. Frota Registrada

A frota registrada representa o conjunto de veículos que receberam o primeiro licenciamento no órgão de trânsito quando novo ou que foram transferidos de outros estados, ou seja, contam como existentes. Para este inventário, foram utilizados os veículos automotores fabricados no período de janeiro de 1983 a dezembro de 2023, registrados no Detran-ES. Posteriormente, os veículos disponibilizados pelo Detran-ES foram agrupados em categorias, conforme sua definição, destinação e por tipo de combustível utilizado, conforme metodologia consolidada pela CETESB, como mostrado na Tabela 5, que segue.

Tabela 5: Definição das categorias de veículos aplicadas neste inventário.

Categorias		Motor/Combustível	Definição
Automóveis		Otto	Gasolina
			Etanol
			<i>Flex Fuel</i>
			GNV
Veículos Comerciais leves		Otto	Gasolina
			Etanol
			<i>Flex Fuel</i>
		Diesel	
Motocicletas		Otto	Gasolina
			<i>Flex Fuel</i>
Caminhões (3,8t<=PBT<6t)	Semileves	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de cargas, com carroceria, e PBT superior a 3856 Kg.
Caminhões (6t<=PBT<10t)	Leves		
Caminhões (10t<=PBT<15t)	Médios		
Caminhões semipesados (15t>PBT e PBTC<40t)			
Caminhões (15t>PBT e PBTC>=40t)	Pesados		
Ônibus Urbanos		Diesel	Veículo automotor de transporte coletivo dentro do município, de uso intermunicipal nas regiões metropolitanas e os minis-ônibus.
Micro-Ônibus			Veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para até 20 passageiros para uso urbano, intermunicipal ou rodoviário incluindo os minis-ônibus.
Ônibus Rodoviários			Veículo automotor de transporte coletivo para transporte entre municípios, interestadual, internacional, turismo, fretamento e os especiais.

Notas: PBT – Peso Bruto Total

PBTC: Peso Bruto total Combinado.

(1) Resolução CONAMA 15/1995

Para a categoria de automóveis, foram agrupados a frota veicular de automóveis e camionetas, conforme o tipo de combustível utilizado - gasolina, gasolina-etanol (*flex*), Etanol e GNV. No que tange à categoria de veículos comerciais leves, foram agrupados veículos como caminhonetes e utilitários, conforme o combustível utilizado, seja gasolina, etanol, gasolina-etanol (*Flex fuel*) e diesel. Por sua vez, para categoria de motocicletas, foram agrupadas as motocicletas, ciclomotores e motonetas, por combustível utilizado, gasolina e gasolina-etanol (*flex fuel*). No que diz respeito à categoria de caminhões, os mesmos foram agrupados pelo peso bruto total do veículo e conforme o combustível utilizado, no caso o diesel. Por fim, tem-se a categoria de micro-ônibus, por tipo de combustível, nesse caso, somente o diesel.

Conforme análise da Tabela 5, a categoria de caminhões é subdividida pelo peso bruto total, na categoria de caminhões semi leves, leves, médios, semipesados e pesados. No entanto, os dados da frota de caminhões disponibilizado pelo Detran-ES não fazem essa subdivisão pelo peso bruto total. Diante disso, para estimar a frota de caminhões conforme a metodologia adotada pela Cetesb, realizou-se o somatório total da frota de caminhões no respectivo ano de fabricação disponibilizada pelo órgão de trânsito estadual, referente ao ano base 2023, e multiplicou-se pelo respectivo percentual de cada categoria de caminhão inventariada, obtido a partir do Inventário Nacional de Emissões Veiculares (INEV) referente ao ano base 2012. Como o Inventário Nacional traz o quantitativo da frota de veículos pesados, é possível estimar o percentual de cada categoria de caminhão inventariada (caminhões semi leves, leves, médios, semipesados e pesados).

Para a categoria de ônibus, os dados disponibilizados pelo Detran-ES também não trazem a subdivisão em ônibus urbanos e rodoviários. De maneira análoga à frota de caminhões, para estimar a quantidade de cada categoria de ônibus inventariada por ano de fabricação, realizou-se o somatório da frota total de ônibus e multiplicou-se pelo percentual de cada categoria de ônibus inventariada, obtido a partir do Inventário Nacional de Emissões Veiculares (INEV), referente ao ano base 2012.

Segundo dados disponibilizados pelo Inventário Nacional de Emissões Veiculares (INEV) referente ao ano base de 2012, a frota total de veículos pesados correspondia à quase 2.000.000 de veículos, sendo representada pela categoria de caminhões semi leves, leves, médios, semipesados e pesados, micro-ônibus e ônibus urbanos e rodoviários. A Tabela 6 e a Tabela 7 mostram os percentuais calculados para a frota de caminhões (semi leves, leves, médios, semipesados e pesados) e ônibus (urbanos e rodoviários), respectivamente, a partir do Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base de 2012.

Tabela 6: Percentual da categoria de Caminhões conforme INEV.

Categoria	Veículos	Percentual (%)
Caminhões S Leves	80.000	4,94%
Caminhões Leves	440.000	27,16%
Caminhões Médios	260.000	16,05%
Caminhões S Pesados	460.000	28,40%
Caminhões Pesados	380.000	23,46%
Total	1.620.000	100%

Tabela 7: Percentual da categoria de ônibus conforme INEV.

Categoria	Veículos	Percentual (%)
Ônibus Urbanos	260.000	86,67%
Ônibus Rodoviários	40.000	13,33%
Total	300.000	100%

3.2. Estimativa da Frota Circulante

A frota circulante representa um dos dados mais importantes para a avaliação das estimativas das emissões de poluentes atmosféricos por fontes veiculares. No cenário nacional há diversas bases de dados que fornecem as características das frotas veiculares dos Estados e Municípios, a exemplo dos órgãos de trânsito estaduais – Detrans. Entretanto, esses órgãos, de maneira geral, fornecem informações sobre a frota veicular registrada. Mas, para o estudo das emissões atmosféricas por fontes veiculares é necessário o conhecimento da frota circulante, ou seja, aqueles veículos que realmente estão ativos para um dado ano base. Desta forma, a frota circulante representa o conjunto de veículos que este relatório estima estar em circulação, independente de constar nos registros do órgão do trânsito.

A partir dos dados da frota registrada disponibilizados pelo Detran-ES para a Região Metropolitana da Grande Vitória, foi obtida frota circulante por cada categoria de veículo inventariada, segregada por combustível utilizado. A metodologia para estimar a frota circulante segue as diretrizes adotadas no documento denominado 'Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários' (IEMA, 2011), diretrizes estas, também, adotadas pela Companhia Ambiental do Estado

de São Paulo (CETESB). A frota circulante foi estimada a partir dos valores das taxas de sobrevivência (fração de veículos remanescentes) obtidos a partir das curvas de sucateamento dos veículos, disponibilizados no 'Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários' (IEMA, 2011).

Para automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto, as curvas adotadas são as utilizadas pelo Serviço de Planejamento da Petrobras, calibrada pelos dados da Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD). A função de sucateamento resultante é uma função Gompertz e segue a seguinte expressão:

$$S(t) = 1 - \exp(-\exp(a + b(t))) \quad \text{equação 01}$$

Onde,

$S(t)$: é a fração de veículos remanescentes, ainda não sucateados, na idade t ;
 a e b : parâmetros variáveis de acordo com o tipo de veículo categorizado.

Para veículos do ciclo diesel, as curvas de sucateamento foram calibradas a partir de dados de idade média e da frota total. A função de sucateamento resultante é uma função logística renormalizada.

$$S(t) = \frac{1}{(1+\exp(a(t-t_0)))} + \frac{1}{(1+\exp(a(t+t_0)))} \quad \text{equação 02}$$

Onde,

$S(t)$: é a fração de veículos remanescentes, ainda não sucateados, na idade t ;
 a e t_0 : são parâmetros variáveis de acordo com a categoria de veículo.

Para motocicletas, adotou-se a curva de sucateamento utilizada pelo Sindipeças (2008), cujas taxas anuais de sucateamento para motocicletas, de até 200 cilindradas, variam conforme a Tabela 8, que segue.

Tabela 8: Taxas anuais de sucateamento para motocicletas.

Tipo	Taxa de sucateamento	Idade do veículo (anos)
Motocicletas	4%	até 5 anos
	5%	>= 6 a 10
	6%	>=11 a 15
	8%	>= 16 anos

Assim, obtidos os valores das taxas de sobrevivência (fração de veículos renascentes) para cada categoria de veículo inventariada e ano de fabricação, é possível estimar a frota circulante para cada categoria e ano de fabricação. Logo, a frota circulante pode ser estimada de acordo com a equação.

$$F_C = F_R * S(t) \quad \text{equação 03}$$

Onde,

F_C : Frota circulante numa dada região de interesse no respectivo ano de fabricação para determinada categoria inventariada;

F_R : é a Frota registrada numa dada região de interesse no respectivo ano de fabricação para determinada categoria inventariada;

$S(t)$: Fração de veículos remanescentes obtidos pela curva de sucateamento.

3.3. Curvas de Intensidade de Uso

As curvas de intensidade de uso referem-se a modelos que representam a variação da quilometragem percorrida por diferentes tipos de veículos ao longo do tempo. Essas curvas são usadas para entender como a frota de veículos se movimenta em uma área geográfica específica e podem ser aplicadas no cálculo de inventário de emissões veiculares. No presente inventário, a intensidade de uso é subdividida em intensidade de uso de referência e intensidade de uso ajustada, sendo que a intensidade de referência representa a quilometragem percorrida pelo veículo ao longo de um ano (km/ano).

As curvas de intensidade de uso de referência empregadas no presente inventário, obtidas para cada categoria inventariada e por combustível, foram categorizadas em automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto, comerciais leves diesel, motocicletas, ônibus urbanos, micro-ônibus, ônibus rodoviários, caminhões semi-leves e

leves, caminhões médios, caminhões semipesados e caminhões pesados. A partir das curvas de intensidade de referência, obtém-se a distância média anual percorrida, em função da idade do veículo, para cada categoria inventariada no respectivo ano de fabricação.

Cabe destacar que as curvas de intensidade de uso de referência para a categoria de automóveis do ciclo Otto foram as mesmas empregadas para a categoria de veículos comerciais leves do ciclo Otto, para combustíveis gasolina, etanol e os que apresentam tecnologia *flex fuel*, respectivamente. No que tange à subdivisão da categoria de caminhões, foi empregada a mesma curva de intensidade de uso de referência para ambas as categorias semi leves e leves, de maneira análoga para a categoria de caminhões semipesados e pesados. Portanto, frente ao destacado, os valores da intensidade de uso de referência para a categoria de automóveis, veículos comerciais leves, micro-ônibus, ônibus rodoviários e caminhões semi leves, leves, médios, semipesados e pesados foram obtidos a partir do Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2012. Sobre a categoria de ônibus urbanos, os valores da intensidade de referência para essa categoria foram obtidos a partir do Primeiro Inventário Nacional de Emissões Veiculares (Iema, 2011).

As curvas de intensidade de uso de referência utilizadas para estimar as emissões veiculares podem apresentar grandes incertezas. Devido a essas incertezas, é necessário haver o ajuste na intensidade de uso de referência, a partir do consumo observado para cada tipo de combustível na região geográfica de estudo, obtendo, assim, a intensidade de uso ajustada. Esse consumo observado para cada tipo de combustível é disponibilizado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

O cálculo do ajuste da intensidade de uso de referência para cada categoria de veículo e ano de fabricação foi obtido comparando o consumo observado e o consumo estimado para cada tipo de combustível. A equação geral para estimar o consumo estimado de cada combustível, em cada categoria e no respectivo ano de fabricação segue a equação 04, sendo necessário o conhecimento da autonomia de cada veículo no ano de fabricação, da frota circulante e da intensidade de uso de referência de cada veículo no respectivo ano de fabricação.

$$C_{estim} = \frac{(F_C * I_r)}{Q} \quad \text{equação 04}$$

Onde,

C_{estim} : Consumo de combustível para cada categoria e ano de fabricação;

F_r : frota circulante de cada categoria no ano de fabricação;

I_r : Intensidade de uso de referência do veículo em determinado ano expressa em termos de quilometragem anual percorrida;

Q : autonomia específica de cada veículo no ano de fabricação.

Após isso, realiza-se o somatório do consumo estimado para cada combustível entre as categorias inventariadas. Obtido esse consumo, realiza-se o ajuste na intensidade de uso de referência por meio da razão entre o consumo observado e o consumo estimado, conforme equação 05. Essa razão gera um fator de correção, acarretando novos valores para a intensidade de referência, ou seja, a intensidade de uso ajustada, que será a distância percorrida, na equação geral, empregada para fins de cálculo das emissões por escapamento veicular.

$$I_{ajus} = I_{ref} * \left(\frac{C_{obser}}{C_E} \right) \quad \text{equação 05}$$

I_{ajus} : Intensidade de uso ajustada do veículo, expressa em termos de quilometragem anual percorrida (km/ano);

I_{ref} : Intensidade de uso de referência expressa em termos de quilometragem anual percorrida (km/ano);

C_{obser} : Consumo anual total para cada tipo combustível do ano de 2023 disponibilizado pela ANP (L/ano);

C_E : Consumo total para cada tipo de combustível no período do inventário entre as categorias inventariadas.

3.4. Fatores de Emissão

O fator de emissão representa a massa de poluente emitida pelos veículos à circular por uma determinada distância percorrida. São valores médios de emissão calculados a partir do ano de fabricação de veículo, estimados levando em consideração critérios como porte do veículo, tecnologia e equipamentos de controle de emissão empregados, tipo e características do combustível utilizado, condições de operação e condução ou mesmo condições de manutenção do veículo.

De acordo com CETESB, os fatores de emissão são elaborados a partir de informações recebidas dos fabricantes ou importadores de veículos ou motores, após a realização de ensaios de emissão em amostras dos veículos ou motores destinados ao mercado brasileiro. Os dados de emissão de cada veículo ensaiado são tratados estaticamente e são calculados os valores médios de emissão em função da participação de cada

modelo no mercado. Na ausência desses dados, são utilizados fatores de emissão homologados ou descritos na literatura.

A unidade usual do fator de emissão é dada em gramas por quilômetro (g/km), ou seja, em quantidade de poluente emitido por quilômetro percorrido para cada tipo de poluente. Contudo, com exceção a essa regra, estão os fatores de emissão de veículos pesados para as emissões de escapamento e para as emissões evaporativas. Para veículos pesados (caminhões, ônibus e micro-ônibus), os fatores de emissão são obtidos a partir dos testes nos motores e são expressos em massa de poluente por quantidade de trabalho mecânico realizado (g/KWh). Assim, para essas categorias, esses fatores passam por um processo de manipulação algébrica que os converte para massa de poluente emitido por quilômetro percorrido, como o obtido para as demais categorias de veículos. Em relação aos fatores de emissão evaporativas e_r e e_s , os mesmos são disponibilizados em g/viagem. Assim, para convertê-los em g/km, é necessário dividi-los pela distância média percorrida por viagem no transporte individual.

Para o presente inventário de emissões, para a categoria de automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto, os fatores de emissão são disponibilizados pela categoria de veículo e por tipo de combustível utilizado (gasolina, etanol hidratado e os que apresentam tecnologia *flex fuel*), além dos fatores de emissão para veículos comerciais leves do ciclo diesel. Em relação às motocicletas, os fatores de emissão empregados são disponibilizados em função das cilindradas e por tipo de combustível (gasolina e os que apresentam tecnologia *flex fuel*). Neste inventário, os fatores de emissão para motocicletas correspondem à faixa de cilindradas compreendida entre $150 \leq CC \leq 500$. Por fim, para veículos pesados que utilizam único combustível, o diesel, são disponibilizados fatores de emissão em até 8 categorias, sendo elas: ônibus urbanos e rodoviários, micro-ônibus, caminhões semileves, leves, médio, semipesados e pesados.

As emissões de escapamento são alteradas de acordo com a idade do veículo, a quilometragem anual percorrida, condições de uso e pelo estado de manutenção do mesmo. A tendência é que o envelhecimento do veículo provoque sua deterioração, acarretando o aumento das emissões de poluentes atmosféricos pelo mesmo. Com isso, em automóveis e veículos comerciais leves movidos à gasolina, etanol, como também aqueles que apresentam tecnologia *flex fuel*, os fatores de emissão devem ser incrementados a depender do ano de fabricação e, conseqüentemente, da quilometragem do veículo. Para efeito deste inventário, para automóveis e comerciais leves do ciclo Otto, os incrementos não foram calculados, sendo empregados, diretamente fatores de emissão já incrementados, fornecido no Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo, referente ao ano base 2023, disponibilizado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB.

Já, para a categoria de motocicletas e veículos do ciclo diesel, o que inclui veículos comerciais leves à diesel, para as emissões de escapamento não foram empregados fatores de deterioração devido à falta de dados ou estudos validados. Portanto, os fatores de emissões das categorias inventariadas empregados para quantificar as emissões veiculares provenientes de escapamento foram retirados do Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo, referente ao ano base 2023, realizado pela CETESB.

As emissões de automóveis convertidos a GNV foram estimadas considerando fatores de emissões médios, em g/Km, obtidos do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (2013), sendo considerados homogêneos ao longo de todo o período considerado. Como o volume comercializado de GNV é dado em metros cúbicos, para estimar as emissões provenientes de automóveis convertidos a GNV, foi adotado o valor médio de quilometragem por m³ igual a 12 Km/m³. É importante destacar que os fatores de emissão para veículos convertidos a GNV não foram incrementados devido à indisponibilidade de informações. Os poluentes inventariados provenientes de veículos convertidos a GNV consistem de Monóxido de Carbono (CO), Óxido de Nitrogênio (NO_x), Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) e Metano (CH₄). Os fatores de emissão desses poluentes citados estão dispostos na Tabela 9, que segue.

Tabela 9: Fatores de emissão de CO, NO_x, NMHC e CH₄ para veículos movidos a GNV, em g/km.

CO	NO _x	NMHC	CH ₄
0,56	0,29	0,026	0,22

Fonte: Inventário Nacional de Emissões Veiculares (INEV) (2013).

Para as emissões de Dióxido de Enxofre (SO₂) por escapamento veicular, seu cálculo não foi realizado por meio da utilização de fatores de emissão devido à indisponibilidade em outros trabalhos de referência. Para quantificar as suas emissões, foi considerado que todo teor de enxofre presente no combustível é completamente convertido em SO₂ durante o processo de combustão.

Quanto aos fatores de emissão para estimar as emissões evaporativas, também foram empregados os fatores utilizados no Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo referente ao ano base de 2023, disponibilizado pela CETESB. Sendo apresentados em massa por unidade de tempo, é necessário fazer a conversão dos fatores de emissão para a unidade de massa por distância percorrida. No caso dos fatores de emissão e_s (*running losses*) e e_r (*fase hot soak*), que são dados em g/viagem, para

converter para g/km é necessário a utilização da distância média nacional percorrida por viagem no transporte individual que, segundo Relatório Geral 2018 do Sistema de Informações da Mobilidade Urbana (2020), disponibilizado pela Associação Nacional de Transportes Públicos, é de 7,1 Km por usuário/viagem.

Por fim, para as emissões de Material Particulado provenientes de desgaste de pneus, freios e pista foram empregados fatores de emissão nas frações de partículas PTS, MP_{2,5} e MP₁₀ por categoria de veículo. Os fatores de emissão para o PTS, MP_{2,5} e MP₁₀ são provenientes do inventário de emissões atmosféricas da União Europeia (EEA,2016). No entanto, segundo o Relatório Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base de 2012, devido a esses fatores serem de uma base europeia, pode ser que não reflita a realidade brasileira, principalmente, no que diz respeito a qualidade de pavimentação de vias e a qualidade dos pneus e freios.

3.5. Estimativas das Emissões Veiculares

A seguir, serão apresentados a metodologia para estimar os diferentes tipos de emissões veiculares na Região Metropolitana da Grande Vitória. Dentre eles, cabe destacar: Emissões provenientes do escapamento veicular (processo de exaustão), emissões oriundas dos processos evaporativos dos combustíveis e, por fim, as emissões de Material Particulado nas frações de partículas PTS, MP_{2,5} e MP₁₀ provenientes do desgaste de pneus, freios e pista.

Apesar desses tipos de emissão representarem as principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos oriundos de veículos automotores, uma outra fonte importante de emissão de poluentes constitui-se da ressuspensão de Material Particulado presentes nas vias de tráfego nas diferentes frações de partículas. Tratando-se de material fino previamente depositado nas vias, há a ressuspensão dessas partículas, e consequente lançamento à atmosfera, pela ação dos ventos, movimentação dos veículos e até devido ao fluxo de gases de escapamento. Contudo, apesar de ser uma fonte significativa da poluição do ar, as emissões por ressuspensão de partículas não foram quantificadas no presente inventário.

3.5.1. Estimativas das Emissões por Escapamento

As emissões por escapamento são provenientes do processo de exaustão proveniente do motor. Para a estimativas das emissões veiculares por escapamento para a Região Metropolitana da Grande Vitória foi utilizada a metodologia consolidada, a qual foram utilizados os dados referentes à frota circulante, intensidade de uso e fatores de emissão.

Desta forma, a equação geral para a estimativa das emissões veiculares provenientes do escapamento veicular é dada pela equação 06, que segue.

$$E = F_e * I_u * F_c \quad \text{equação 06}$$

Onde,

E : representa a taxa anual de poluente emitida no período considerado (g/ano);

F_e : representa o fator de emissão, depende do tipo de veículo, do poluente e combustível utilizado (g/ano);

I_u : representa a intensidade de uso anual ajustada ou quilometragem média anual percorrida pelo veículo (km/ano);

F_c : representa a frota circulante, por categoria de veículo e por ano de fabricação.

Apesar da equação 6 ser a equação geral para estimar as emissões por escapamento veicular, no caso das emissões por escapamento de automóveis convertidos a GNV, ela não pôde ser empregada, visto a indisponibilidade de informações consistentes e detalhadas acerca da frota convertida, especialmente no que se refere aos números de conversões por ano, modelo e o combustível original dos veículos convertidos. Dessa forma, tais emissões foram estimadas levando em consideração o fator de emissão do poluente e o consumo anual de GNV por ano, além da autonomia específica, que corresponde a 12 km/m³. A equação utilizada para estimar as emissões de escapamento provenientes de automóveis convertidos a GNV segue a equação 07.

$$E = 12 * C_{GNV} * F_e \quad \text{equação 07}$$

Onde,

E : representa a taxa anual de emissão do poluente considerado (g/ano);

F_e : é o fator de emissão do poluente considerado (g/Km);

C_{GNV} : consumo anual de GNV (m³/ano).

Já, para as emissões do Dióxido de Enxofre (SO₂) proveniente do escapamento veicular, as mesmas foram estimadas levando em consideração o teor de enxofre máximo admitido pela especificação do combustível. Não foi aplicada a equação geral, devido à indisponibilidade de informações detalhadas a respeito dos fatores de emissão para o poluente. De acordo com essa metodologia, é esperado que a estimativas das emissões calculadas sejam maiores que a emissão real. A equação geral para estimar

as emissões veiculares de Dióxido de Enxofre provenientes do escapamento veicular é dada pela equação 08, que segue.

$$E = \frac{64}{32} * \frac{d}{10^6} * I_u * \frac{F_c}{A} * T_e \quad \text{equação 08}$$

Onde,

E : Taxa anual de poluente emitida no período considerado (g/ano)

d : Densidade do combustível (g/L);

A : Autonomia específica (km/L)

I_u = Representa a intensidade de uso ajustada ou quilometragem média anual percorrida pelos veículos (km/ano);

F_c = Representa a frota circulante, por categoria de veículo e ano de fabricação;

T_e : Teor de enxofre presente no combustível.

3.5.2. Estimativas das Emissões por Desgaste de Pneus, Freios e da Pista

O tráfego veicular promove o desgaste de pneus e freios dos veículos, como também, o desgaste das vias, projetando partículas para a atmosfera. A emissão de partículas para a atmosfera pelo desgaste de pneus e da pista são provenientes de processos de abrasão, surgindo como resultado da interação entre pneus do veículo e a superfície da via. É intensificada por fatores como velocidade do veículo, temperatura do ar e pressão dos pneus sobre a pista.

Por sua vez, a emissão de partículas por desgaste de freios surge em decorrência dos processos de frenagem, devido o atrito entre as pastilhas de freio e as rodas quando os freios são aplicados para o desaceleramento do veículo. Nos grandes centros urbanos, o desgaste dos discos de frenagem e revestimentos que compõem o sistema ocorre mais intensamente nos semáforos e cruzamentos, devido ao calor gerado proveniente da desaceleração acentuada do veículo.

As emissões de Material Particulado provenientes do desgaste de pneus, freios e pista foram estimadas nas frações de partículas PTS, MP_{2,5} e MP₁₀, conforme a metodologia adotada pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMAMC) no Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2012. A fração de Partículas Totais em Suspensão (PTS) corresponde às partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça e fuligem, possuindo diâmetro de até 35 µm (micrômetros). Já o MP₁₀ e o MP_{2,5} são as frações de Material Particulado com diâmetro igual ou inferior à 10 e 2,5 µm (micrômetros), respectivamente.

O cálculo geral segue a equação 09. São empregados conceitos relacionados à fatores de emissão, intensidade de uso e frota circulante.

$$E = F_e * I_u * F_C \quad \text{equação 09}$$

Onde,

E : representa a taxa anual de poluente emitida no período considerado (g/ano);

F_e representa o fator de emissão para cada fração/tamanho de partícula de acordo com a categoria inventariada;

I_u : representa a intensidade de uso ajustada ou quilometragem média anual percorrida pelo veículo (km/ano);

F_C : representa a frota circulante, por categoria de veículo e ano de fabricação.

3.5.3. Estimativa das Emissões Evaporativas

As emissões evaporativas constituem-se de emissões de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) que emanam, ou seja, evaporam dos sistemas de combustível (tanques, sistemas de injeção e linhas de combustíveis) de automóveis e veículos comerciais leves movidos a gasolina, etanol hidratado e os que apresentam tecnologia *flex fuel*, ou seja veículos do ciclo Otto.

A formação das emissões de NMHC por processos evaporativos está relacionada a variações de temperatura ambiente ou do próprio veículo. Logo, seus fatores de emissão estão disponibilizados em faixas específicas de temperatura (0-15, 10-25 e 20-35°C). Para fins de cálculo das emissões evaporativas para a Região Metropolitana da Grande Vitória, os fatores de emissão empregados compreenderam a faixa de temperatura entre 20-35°C. Para a realização dos cálculos, foi considerada que todas as médias da temperatura diária registrada na Região Metropolitana da Grande Vitória no ano de 2023 compreenderam o intervalo de temperatura entre 20- 35°C.

A metodologia já consolidada considera que as emissões evaporativas nos veículos podem ocorrer de três processos distintos, sendo eles: as emissões evaporativas diurnas (E_d), as emissões evaporativas da fase *hot soak* (E_s) e as emissões evaporativas *running losses* (E_r). As emissões evaporativas diurnas estão relacionadas à evaporação de combustível devido à exposição ao sol do veículo frio. As emissões da fase *hoat soak* refere-se às emissões evaporativas devido ao aquecimento do motor após o uso. Por último, as emissões *running losses* que são as emissões evaporativas oriundas das perdas de combustível nos veículos em movimento.

Para estimar as emissões por processos evaporativos nas fases *hot soak* e *running losses* foi empregada a equação 10, sendo empregados conceitos de frota circulante, intensidade de uso ajustada e fatores de emissão. Os fatores de emissão que foram empregados na fase *hot soak* e *running losses* foram disponibilizados pela Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo referente ao ano base de 2023. No entanto, são apresentados em unidade de massa por viagem (g/viagem), sendo necessário haver a conversão para a unidade de massa por distância percorrida (g/Km). Desta forma, a constante 7,1 constitui o fator de conversão e representa a distância média percorrida por viagem no transporte individual adotado para a Região Metropolitana da Grande Vitória, conforme disponibilizado em maio de 2020 pela Associação Nacional de Transportes Públicos, publicado no Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público referente ao ano de 2018 (ANTP, 2020).

$$E = \frac{(I_u * F_c * e_{r,s})}{7,1} \quad \text{equação 10}$$

Onde,

E : representa a taxa anual de poluente emitida no período considerado (g/ano);

$e_{r,s}$: representa os fatores de emissão nas fases *hoat soak* e *running losses*;

I_u : representa a intensidade de uso anual ajustada ou quilometragem média anual percorrida pelo veículo (Km/ano);

F_c : representa a frota circulante, por tipo de veículo e por ano de fabricação e a constante;

7,1: representa a distância média percorrida por viagem no transporte individual, segundo a Associação Nacional de Transportes Públicos referente ao ano de 2018.

No que tange as emissões evaporativas diurnas de NMHC, foram estimadas de acordo com a equação geral 11, disponibilizada abaixo. Nela são empregados variáveis como frota circulante e fator de emissão.

$$E = (F_c * e_d) * 365 \quad \text{equação 11}$$

Onde,

E : taxa anual de poluente emitida no período considerado (g/ano);

e_d : representa o fator de emissão para a evaporação de NMHC na fase diurna;

F_c : representa a frota circulante, por tipo de veículo e por ano de fabricação.

É importante destacar que as emissões por processos evaporativos provenientes de motocicletas não foram estimadas devido à indisponibilidade de fatores de emissão específicos para a categoria. Para a categoria de veículos pesados, o que inclui a categoria de caminhões, ônibus e micro-ônibus, todos movidos a diesel, além da categoria de comerciais leves movidos a diesel, as emissões por processos evaporativos não foram quantificadas devido ao diesel apresentar hidrocarbonetos mais pesados e sua pressão de vapor ser relativamente baixa quando comparado aos combustíveis gasolina C e Etanol Hidratado, o que dificulta as perdas por processos evaporativos.

4. RESULTADOS

A estimativa das emissões de poluentes provenientes de veículos automotores no ano base de 2023 para a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) foi calculada levando em consideração a frota registrada na Tabela 3 do presente relatório.

Primeiramente serão apresentados o quantitativo das emissões por escapamento, na qual será realizada a análise dos resultados obtidos para os poluentes Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Dióxido de Enxofre (SO₂), Metano (CH₄), Hidrocarbonetos Totais (HCT) e, em seguida para o poluente Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC), provenientes do processo de exaustão (escapamento) e por processos evaporativos. Posteriormente, serão demonstrados os resultados das emissões totais de escapamentos em função do tipo de combustível comercializado. Por fim, será realizada uma análise para o poluente Material Particulado, nas diferentes frações de partículas inventariadas (PTS, MP_{2,5} e MP₁₀), provenientes do processo de exaustão e pelo desgaste de pneus, freios e pista.

Os resultados das emissões de escapamento (exaustão) são apresentados separadamente por categoria de veículo e por tipo combustível. É apresentado o quantitativo das taxas de emissão (kg/ano) para os poluentes Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Material Particulado (MP), Dióxido de Enxofre (SO₂), Metano (CH₄), Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) e Hidrocarbonetos Totais (HCT).

A Tabela 10 traz as emissões dos poluentes emitidos por escapamento veicular por categoria de veículo.

De acordo com a análise da Tabela 10, verifica-se que os poluentes emitidos em maior quantidade são CO e NO_x. As emissões de CO, são provenientes, principalmente, da categoria de automóveis à gasolina C, automóveis que apresentam tecnologia *flex fuel* e motocicletas a gasolina C. Já no que tange ao NO_x, suas emissões são originadas, principalmente, pela categoria de caminhões, ônibus urbanos e comerciais leves, ambos tendo como combustível matriz o diesel.

Muitos estudos têm apontado que as emissões de Material Particulado provenientes de escapamento veicular (processo de exaustão) são constituídas predominantemente por partículas finas (MP_{2,5}), como poeira, fumaça e todo tipo de material sólido ou líquido, sendo que sua formação varia em função dos tipos de veículos e combustíveis utilizados. Desta forma, no presente inventário convencionou-se que todas emissões de

Material Particulado proveniente do processo de combustão (escapamento veicular) se compõem de Material Particulado na fração $MP_{2.5}$. Devido ao seu tamanho reduzido, esse Material Particulado suspenso na atmosfera pode ser inalado, acarretando danos à saúde. Ainda em relação ao poluente Material Particulado ($MP_{2.5}$), suas emissões provenientes do escapamento veicular oriundos de veículos convertidos a GNV não foram estimadas devido à falta de fatores de emissão específicos para esse caso.

Conforme pode ser observado na Tabela 10, verifica-se que não há emissões de Dióxido de Enxofre (SO_2) por veículos automotores que utilizam o etanol como combustível, visto que este combustível não apresenta enxofre em sua composição, estando presentes em sua estrutura molecular apenas carbono, hidrogênio e oxigênio. Suas emissões consistem em óxidos de carbono, hidrocarbonetos, NMHC e, dependendo das especificações do motor, os óxidos de nitrogênio. Além disso, suas emissões estão presentes em quantidades menores quando comparados a combustíveis fósseis como a gasolina e o diesel.

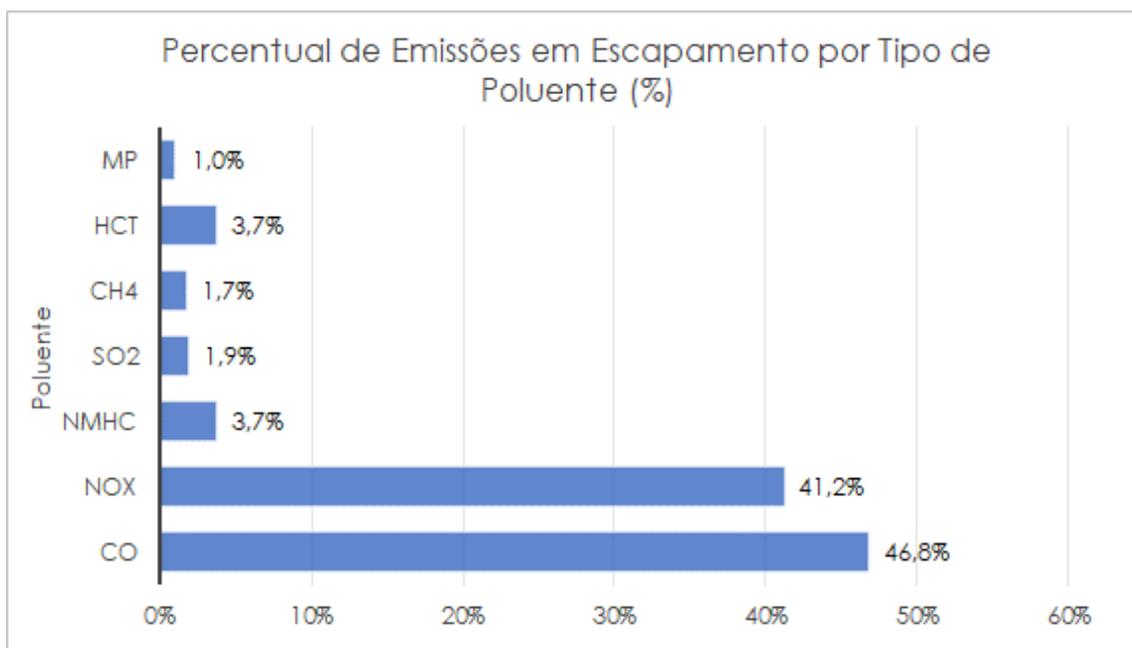
Cabe destacar que as emissões do poluente NMHC por escapamento provenientes de veículos pesados do ciclo diesel não foram quantificadas, devido à indisponibilidade de fatores de emissão para essas categorias.

Tabela 10: Emissões de escapamento veicular por categoria de veículo.

Categoria	Combustível	Emissões por escapamento (kg/ano)						
		CO	NO _x	MP	SO ₂	NMHC	HCT	CH ₄
Automóveis	Gasolina C	800.871,47	99.395,98	607,72	3.440,90	77.507,21	47.673,21	10.058,37
	Etanol	2.061,44	195,05	-	-	230,69	223,60	41,40
	Flex Gasolina C	3.481.514,16	344.950,44	5.559,01	26.792,85	313.875,28	137.619,20	28.178,94
	Flex Etanol	243.318,84	17.190,01	67,26	-	28.709,55	24.483,12	8.402,49
	GNV	181.260,77	93.867,18	-	-	8.415,68	-	71.209,59
Comerciais leves	Gasolina C	98.426,75	10.102,20	130,98	578,25	8.365,04	3.947,88	850,41
	Etanol	1.627,98	152,51	-	-	161,88	2.457,67	24,80
	Flex Gasolina C	339.650,01	23.592,49	637,12	3.381,30	30.189,08	12.900,64	3.797,22
	Flex Etanol	24.133,05	1.815,33	7,84	-	2.062,39	2.222,77	824,02
	Diesel	42.101,07	164.030,18	10.323,16	24.217,53	-	14.478,04	5.396,93
Caminhões S leves	Diesel	9.183,03	55.163,37	1.531,82	2.301,29	-	2.368,17	2.449,59
Caminhões Leves		100.799,52	547.375,07	14.653,30	21.232,33	-	22.332,45	13.911,84
Caminhões Médios		82.788,72	482.023,84	12.610,34	19.775,40	-	17.432,98	13.391,28
Caminhões S Pesados		257.913,24	1.624.019,27	44.071,29	62.799,98	-	58.030,22	25.906,57
Caminhões Pesados		212.703,07	1.352.794,17	34.547,69	51.898,42	-	56.255,02	21.409,30
Ônibus Urbanos		258.209,19	1.292.804,73	25.944,39	62.892,22	-	39.808,54	15.401,62
Ônibus Rodoviários	Diesel	27.516,90	173.241,98	3.145,75	1.354,65792	-	5.638,67	3.113,47
Micro-Ônibus		55.376,14	283.365,69	3.334,81	18.110,97	-	6.788,06	6.543,54
Motocicletas	Gasolina C	972.013,35	51.884,99	2.289,56	1.446,85	82.313,11	101.824,51	26.328,66
	Flex Gasolina C	317.763,68	25.951,41	1.733,78	1.546,39	33.594,85	40.274,60	11.298,68
	Flex Etanol	26.897,44	1.352,67	145,47	-	3.404,93	4.354,36	1.082,79
Total por poluente		7.536.129,81	6.645.268,56	161.341,30	301.769,32	588.829,69	601.113,72	269.621,50
Total geral		16.104.073,89						

No Gráfico 6 é mostrado o percentual de cada tipo de poluente em relação às emissões totais de escapamento provenientes dos veículos da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV). Conforme análise da mesma, verifica-se que o poluente Monóxido de Carbono (CO) possui o maior percentual das emissões totais da RMGV, com 46,8%, seguido de Óxidos de Nitrogênio (NO_x), com 41,2%. Por outro lado, as emissões de Material Particulado (MP) provenientes do escapamento possui o menor percentual em relação as emissões totais pelo processo de exaustão, com 1,0% das emissões. As emissões de NO_x e de CO são muito elevadas em comparação aos outros poluentes inventariados, o que reforça a necessidade de estudos e ações para a redução das emissões desses poluentes, haja vista que ambos trazem prejuízos diretos à saúde humana, além de também contribuem para a formação do ozônio troposférico e do fenômeno do *smog* fotoquímico, afetando, assim, a qualidade de vida da população, sobretudo nos grandes centros urbanos.

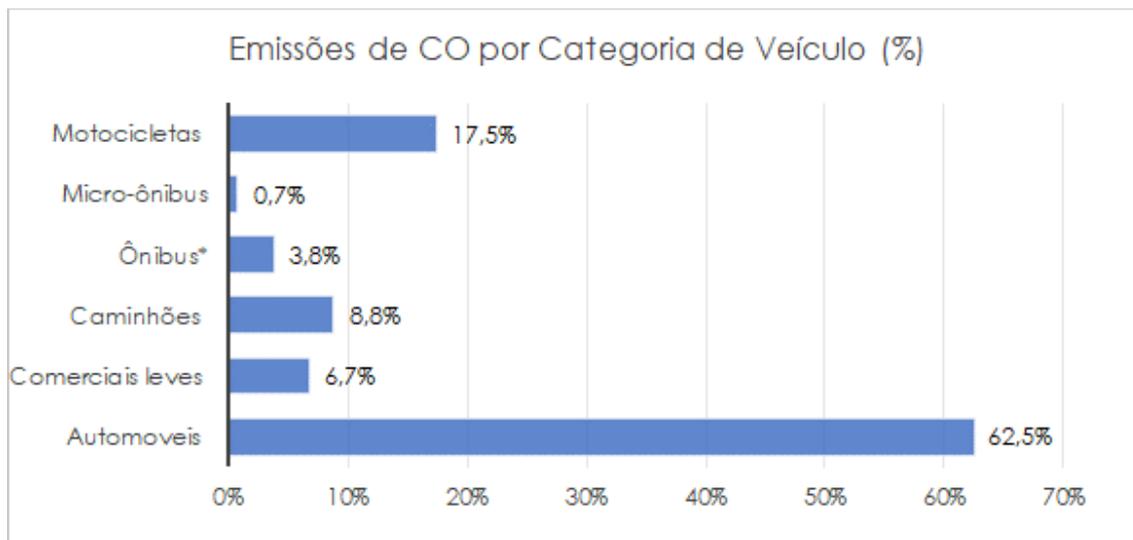
Gráfico 6: Percentual das emissões veiculares por escapamento na Região Metropolitana na Grande Vitória, ano base 2023.



A seguir, no Gráfico 7 é mostrado o percentual das emissões de CO por categoria de veículo presente no inventário. Conforme análise do referido gráfico, observa-se que 62,5% das emissões totais de CO são originadas de automóveis do ciclo Otto, enquanto que 17,5% são provenientes de motocicletas. Por outro lado, as emissões de CO provenientes da categoria Micro-Ônibus tem o menor percentual em relação às emissões totais de CO, representando 0,7% das emissões totais do poluente. As elevadas taxas de emissões de Monóxido de Carbono (CO) para os automóveis do ciclo Otto estão relacionadas ao elevado fator de emissão da categoria, quando comparados

aos fatores de outras categorias inventariadas. A contribuição desse tipo de motor se torna predominante em função das características do tipo de motor e pela grande quantidade de veículos presente dessa categoria. Além disso, foram observadas elevadas taxas do poluente para a categoria de motocicletas, devido, além dos elevados fatores de emissão do poluente para a categoria, ao aumento considerável da frota de motos na Região Metropolitana da Grande Vitória.

Gráfico 7: Percentual das emissões de CO por escapamento por categoria de veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória.

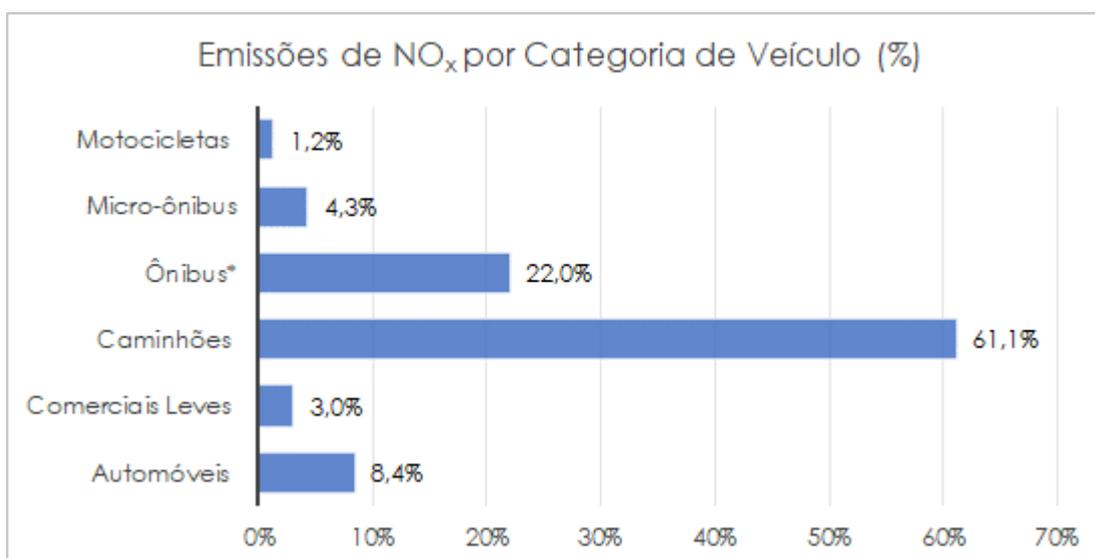


* Para o gráfico acima, a categoria ônibus agrupou ônibus urbanos e ônibus rodoviários

O Gráfico 8 traz o percentual das emissões de NO_x de escapamento por categoria de veículo inventariada. Conforme demonstrado no gráfico, na Região Metropolitana da Grande Vitória, evidencia-se que a categoria de caminhões é responsável por cerca de 61,1% das emissões totais de Óxidos de Nitrogênio, seguido da categoria de ônibus (urbanos e rodoviários), com 22%, enquanto que a categoria de motocicletas possui o menor percentual das emissões totais do poluente, com 1,2%.

Frente ao resultado obtido, verifica-se que as emissões mais expressivas do poluente NO_x são provenientes das categorias de veículos movidos a diesel, como caminhões e ônibus (urbanos e rodoviários). A elevada taxa de emissão do poluente NO_x está relacionada, em especial, aos elevados fatores de emissão para as categorias de caminhões e ônibus, quando comparados as outras características inventariadas. Desta forma, diante desse contexto, torna-se necessário estudos e ações que visem a redução de emissões deste poluente, visto que o mesmo contribui significativamente para a formação do ozônio troposférico, comprometendo assim, a qualidade do ar, sobretudo nos grandes centros urbanos.

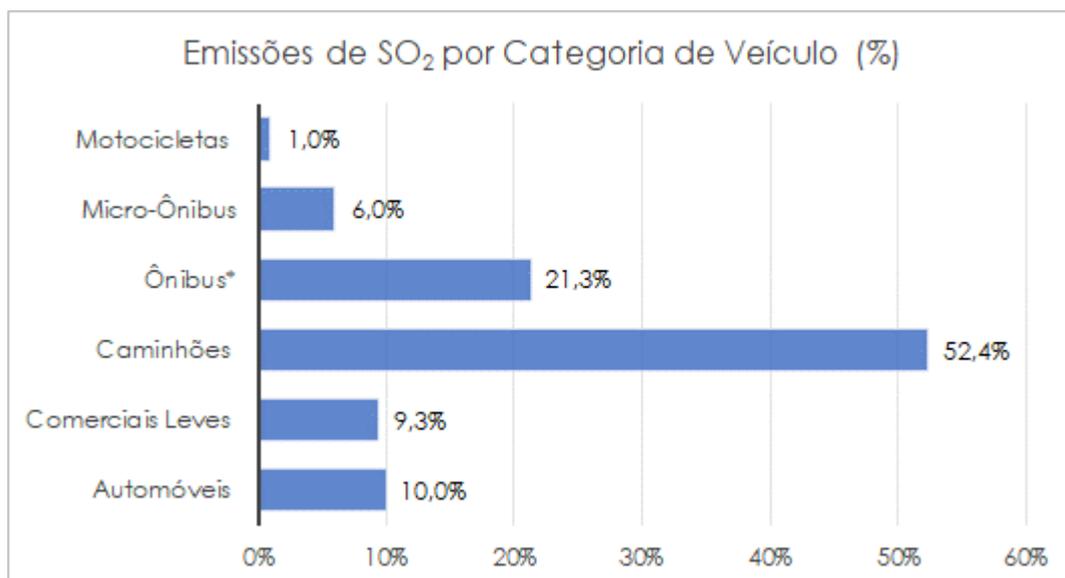
Gráfico 8: Percentual das emissões de NO_x por escapamento por categoria de veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória.



* Para o gráfico acima, a categoria ônibus agrupou ônibus urbanos e ônibus rodoviários

A emissão de Dióxido de Enxofre (SO₂) por escapamento veicular é mostrada no Gráfico 9. Conforme análise do mesmo, a categoria de caminhões é responsável por 52,4 % das emissões totais de Dióxido de Enxofre, seguido da categoria de ônibus, com 21,3% das emissões totais do poluente. A categoria de motocicletas apresenta o menor percentual, com 1,0% das emissões totais. Verifica-se, portanto, que dentre todas as categorias inventariadas, as emissões mais expressivas do poluente são provenientes das categorias de veículos pesados, ou seja, os que apresentam o diesel como combustível, devido ao elevado teor de enxofre presente no diesel, quando comparado a outros tipos de combustíveis, como a gasolina C.

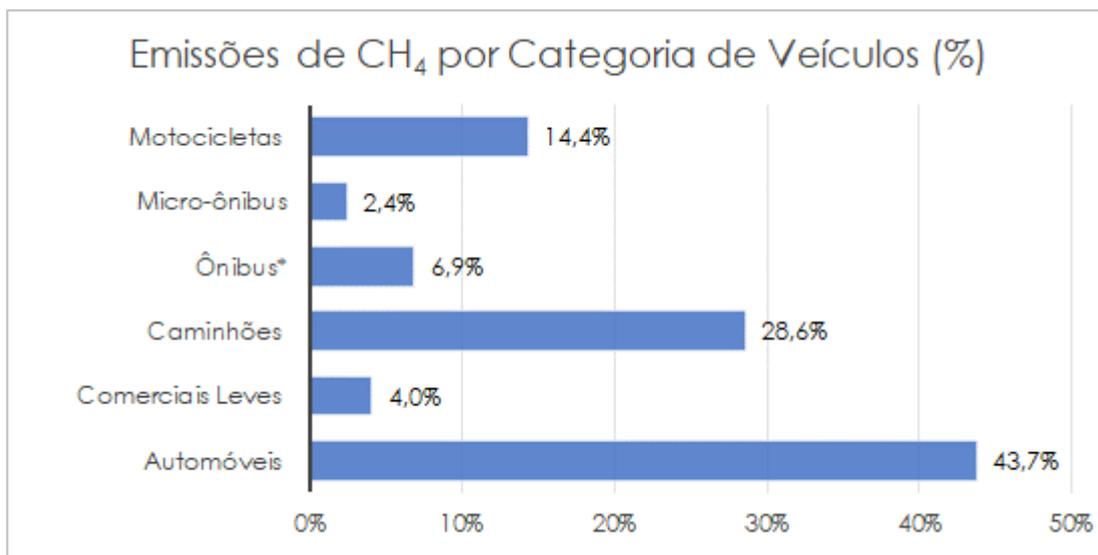
Gráfico 9: Percentual das emissões de SO₂ por escapamento por categoria de veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).



* Para o gráfico acima, a categoria ônibus agrupou ônibus urbanos e ônibus rodoviários

Para as emissões totais de Metano (CH₄), o Gráfico 10 traz o percentual das emissões de cada categoria inventariada. De acordo com análise do gráfico, a categoria de automóveis é responsável por 43,7% das emissões totais de CH₄, enquanto que a categoria de caminhões é responsável por 28,6%. A categoria de micro-ônibus, possui o menor percentual entre as categorias inventariadas, com 2,4% das emissões totais do poluente.

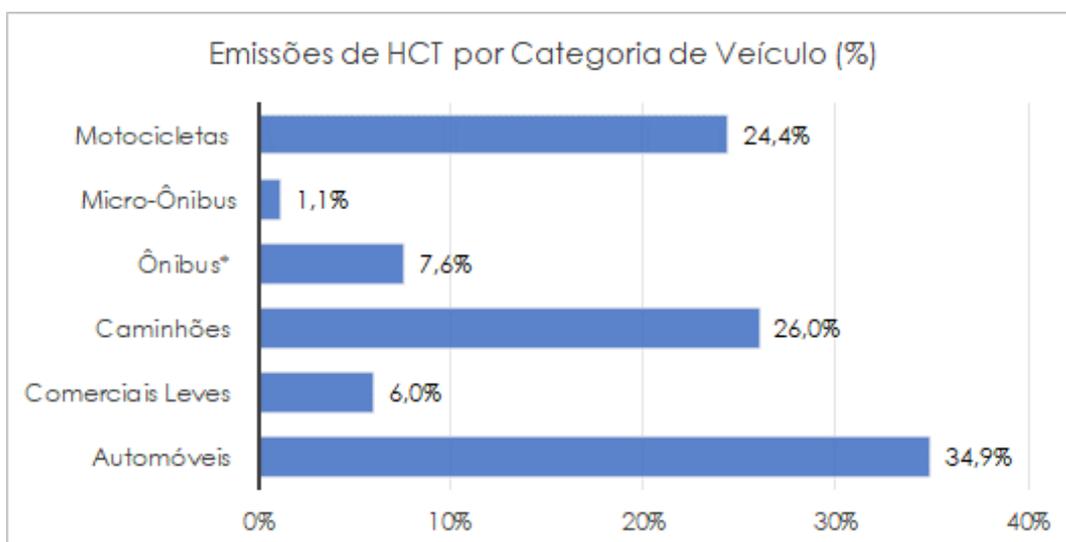
Gráfico 10: Percentual das emissões de CH₄ por escapamento por categoria de veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).



* Para o gráfico acima, a categoria ônibus agrupou ônibus urbanos e ônibus rodoviários

No que diz respeito às emissões de Hidrocarbonetos Totais (HCT), o Gráfico 11 traz o percentual de suas emissões por categoria inventariada. Conforme demonstrado no gráfico, pode-se verificar que a categoria de automóveis possui o maior percentual das emissões de Hidrocarbonetos Totais, com 34,9% das emissões, seguido da categoria de caminhões e motocicletas, com 26,0% e 24,4% das emissões totais de HCT, respectivamente. Cabe destacar que optou-se pela quantificação das emissões de Hidrocarbonetos Totais (HCT) diretamente pelo fator de emissão do poluente e não pela somatória das emissões de NMHC e CH₄ por escapamento veicular. Desta forma, pode ocorrer de o resultado obtido para taxa de emissão de Hidrocarbonetos Totais (HCT) não refletir no mesmo valor da somatória das emissões de NMHC e CH₄.

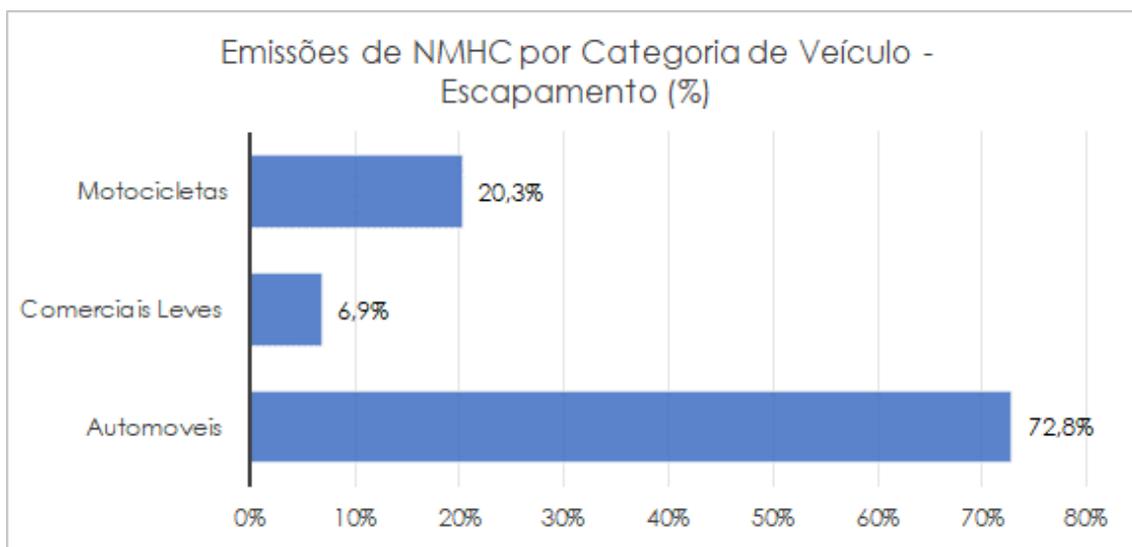
Gráfico 11: Percentual das emissões de HCT por escapamento por categoria de veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV).



* Para o gráfico acima, a categoria ônibus agrupou ônibus urbanos e ônibus rodoviários

Em se tratando das emissões de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC), os quais são provenientes dos processos de escapamento e processos evaporativos dos combustíveis, conforme análise do Gráfico 12, verifica-se que a categoria de automóveis e motocicletas foram responsáveis por 72,8% e 20,3% das emissões de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) provenientes do escapamento veicular, respectivamente. Por outro lado, os veículos comerciais leves apresentaram o menor percentual, representando cerca de 6,9% das emissões totais de NMHC.

Gráfico 12: Percentual das emissões de NMHC por escapamento por categoria de veículo na Região metropolitana da Grande Vitória.



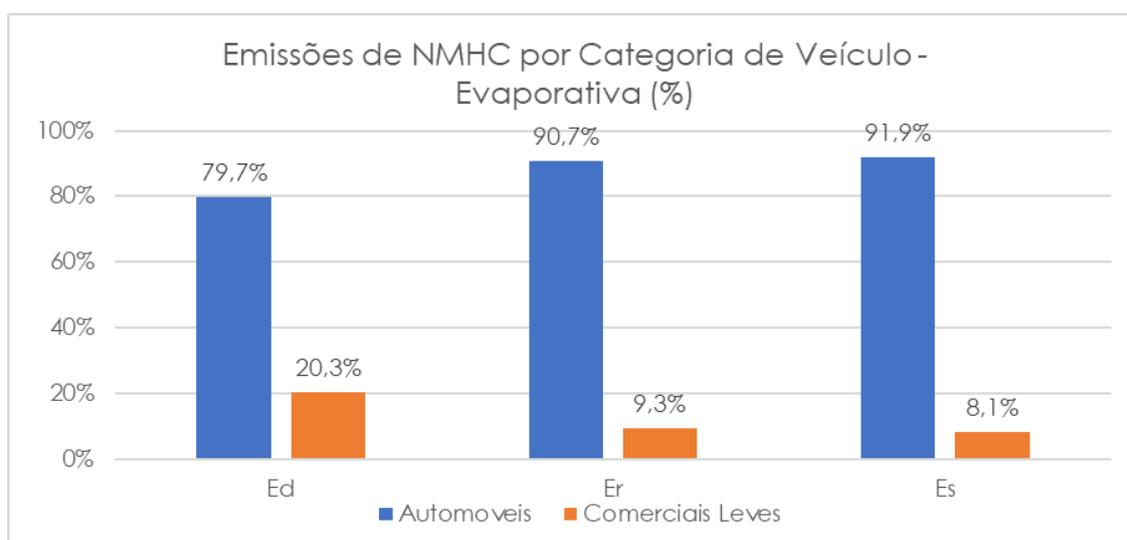
Os processos evaporativos apresentaram contribuição expressiva nas emissões de Hidrocarbonetos Não Metano (NMHC). Conforme análise da Tabela 11, que traz o quantitativo das emissões evaporativas de NMHC, observa-se a taxa de emissão evaporativa de NMHC na fase *hoat soak* (emissões evaporativas devido ao aquecimento do motor após o uso) é responsável pela maior parte das emissões evaporativas totais, seguido das emissões da fase *running losses* (emissões evaporativas oriundas das perdas de combustível nos veículos em movimento). Dentre as categorias inventariadas, a categoria de automóveis que utilizam tecnologia *flex fuel*, para ambos os tipos de emissão evaporativa, representa a categoria com as maiores taxas de emissões evaporativas, devido, principalmente, à frota expressiva de veículos que apresentam tecnologia *flex fuel*. Em relação às emissões totais de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) provenientes dos processos evaporativos, a categoria de automóveis que apresenta tecnologia *flex fuel* é responsável por 66,78% das emissões totais provenientes de processos evaporativos.

Tabela 11: Emissões Evaporativas de NMHC por categoria de veículo.

Categoria	Combustível	Emissões Evaporativas (Kg/ano)		
		Ed	Er (running losses)	Es (hot soak)
Automóveis	Gasolina C	7.012,74	13.839,34	27.678,36
	Etanol	936,86	68,02	107,57
	Flex Gasolina C	21.397,35	42.932,81	127.777,71
	Flex Etanol	834,33	4.925,87	11.387,35
Comerciais leves	gasolina C	126,49	1.807,43	3.058,17
	Etanol	135,30	114,42	139,84
	Flex Gasolina C	1.970,18	3.960,70	10.531,39
	Flex Etanol	5.451,81	439,90	1.001,05
Total		37.865,06	68.088,47	181.681,45
Total		287.634,98		

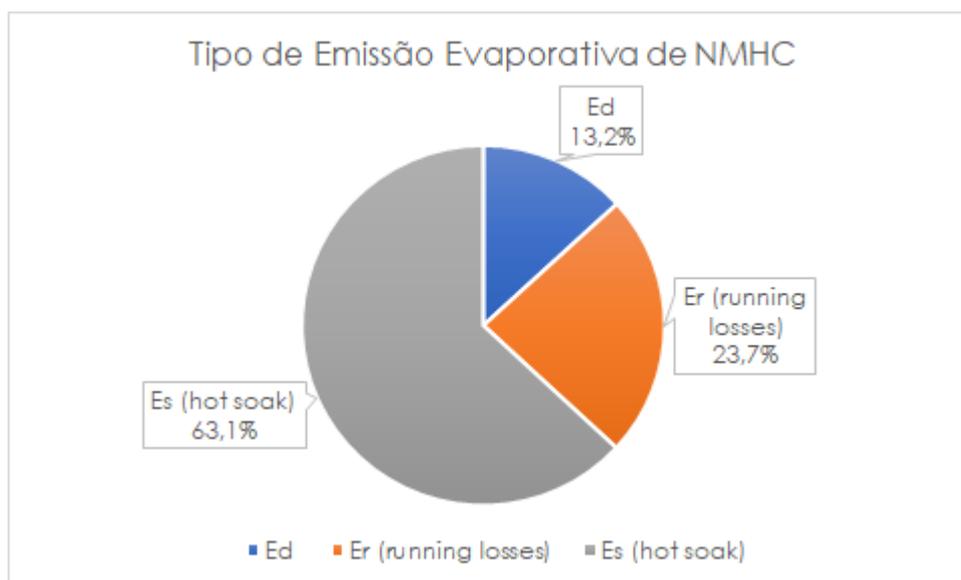
O Gráfico 13 traz o percentual de cada tipo de emissão evaporativa de NMHC por categoria inventariada. Conforme análise do gráfico, pode-se observar que a categoria de automóveis é responsável pela maior parte das emissões evaporativas de NMHC. Na fase *hoat soak* (Es), a categoria de automóveis é responsável por 91,9% das emissões evaporativa de NMHC, enquanto que para a categoria de veículos comerciais leves, o percentual chega a 8,1%. Por outro lado, para as emissões na fase diurna (Ed), a categoria de automóveis é responsável por 79,7% das emissões evaporativas, ao passo que veículos comerciais leves é por 20,3%.

Gráfico 13: Percentual das emissões Evaporativas de NMHC por categoria de Veículo na Região Metropolitana da Grande Vitória.



O Gráfico 14 traz o percentual de cada tipo de emissão evaporativa em relação as emissões evaporativas totais de NMHC. Conforme pode ser visualizado no gráfico, as emissões evaporativas da fase *hot soak* são responsáveis por 63,1% das emissões evaporativas totais de NMHC, enquanto que as emissões diurnas apresentam o menor percentual, sendo responsável por 13,2% das emissões.

Gráfico 14: Percentual das emissões Evaporativas por tipo de emissão.



A Tabela 12 traz o quantitativo das emissões totais de escapamento para cada combustível, em kilogramas/ano. Verifica-se que os veículos movidos a diesel são responsáveis pela maior taxa de emissão de poluentes totais, seguido de veículos que apresentam tecnologia *flex fuel*, enquanto que os veículos movidos a etanol são responsáveis pela menor taxa de emissão de poluentes.

Tabela 12: Emissões de escapamento por combustível (kg/ano).

Poluente	Gasolina C	Etanol	Flex Fuel	GNV	Diesel	TOTAL
CO	1.871.311,6	3.689,4	4.433.277,2	181.260,8	1.046.590,9	7.536.129,8
NO _x	161.383,2	347,6	414.852,3	93.867,2	5.974.818,3	6.645.268,6
MP	3.028,3	ND	8.150,5	ND	150.162,6	161.341,3
SO ₂	5.466,0	ND	31.720,5	ND	264.582,8	301.769,3
NMHC	168.185,4	392,6	411.836,1	8.415,7	ND	588.829,7
HCT	153.445,6	2.681,3	221.854,7	ND	223.132,1	601.113,7
CH ₄	37.237,4	66,2	53.584,1	71.209,6	107.524,1	269.621,5
TOTAL	2.400.057,4	7.177,0	5.575.275,5	354.753,2	7.766.810,8	

Nota- ND: não disponível

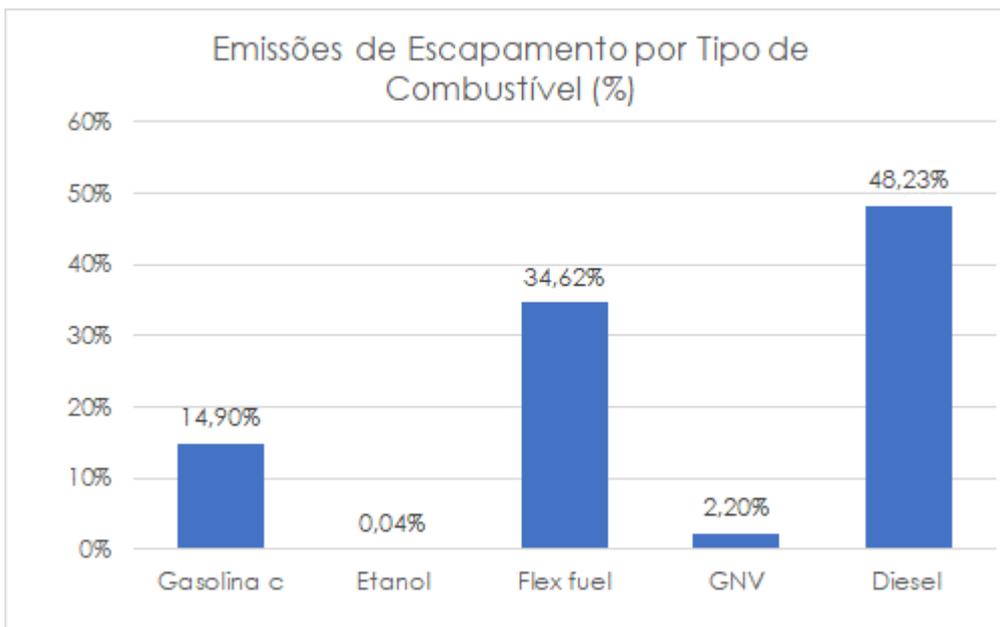
Já, a Tabela 13 traz basicamente a mesma informação, mas em porcentagens comparadas com o somatório de cada poluente. Observa-se que das emissões totais do poluente NO_x, 89,9% é proveniente do diesel. O diesel também representa 87,7% das emissões totais de SO₂ e 93,0% das emissões de Material Particulado (escapamento). Ao passo que 58,8% das emissões totais de CO são provenientes de veículos que apresentam tecnologia *flex fuel*, como automóveis, veículos comerciais leves e motocicletas. As categorias que utilizam somente a gasolina como combustível, como automóveis, comerciais leves e motocicletas, representam 24,9% das emissões de CO.

Tabela 13: Emissões de escapamento por combustível (% em relação ao total para cada combustível).

Poluente	Gasolina C	Etanol	<i>Flex Fuel</i>	GNV	Diesel	TOTAL
CO	24,9%	0,0%	58,8%	2,4%	13,9%	100%
NO _x	2,4%	0,0%	6,3%	1,4%	89,9%	100%
MP	1,9%	ND	5,1%	ND	93,0%	100%
SO ₂	1,8%	ND	10,5%	ND	87,7%	100%
NMHC	28,6%	0,1%	69,9%	1,4%	ND	100%
HCT	25,5%	0,4%	36,9%	ND	37,2%	100%
CH ₄	13,8%	0,0%	19,9%	26,4%	39,9%	100%

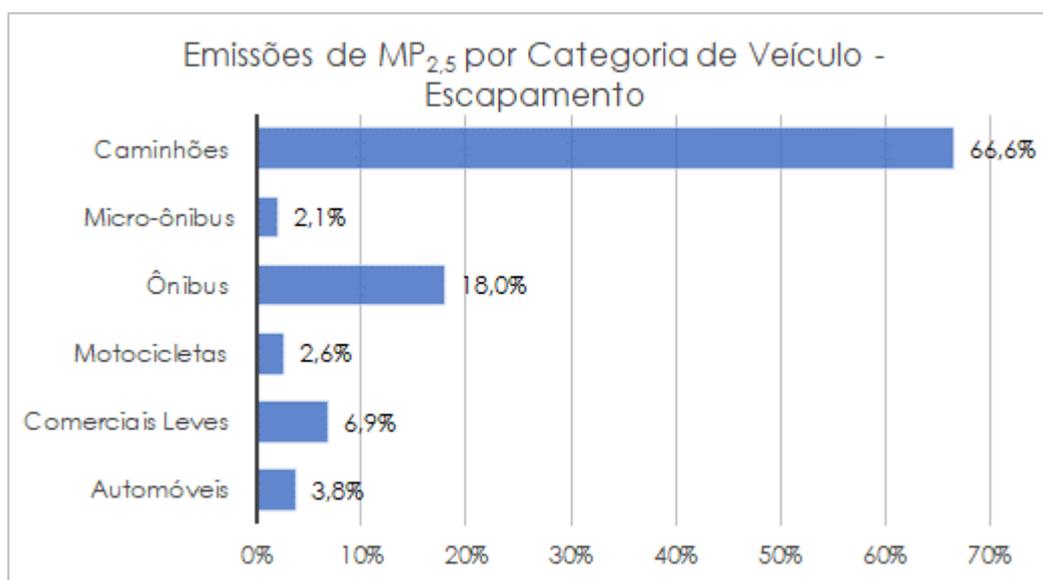
O Gráfico 15 apresenta o percentual das emissões de escapamento por tipo de combustível presente no inventário. Conforme visualizado no gráfico, o diesel representa o combustível que é o maior responsável em relação as emissões totais de escapamento, com 48,23% das emissões, seguido da categoria de veículos que apresentam tecnologia *flex fuel*, com 34,62%, enquanto, a categoria de automóveis movidos a etanol possui o menor percentual das emissões, com 0,04%.

Gráfico 15: Percentual das emissões de escapamento por combustível.



Para as emissões de Material Particulado ($MP_{2,5}$) provenientes de escapamento veicular, observa-se conforme análise do Gráfico 16, que dentre as emissões totais do poluente, a maior parte é proveniente da categoria de veículos a diesel, como caminhões e ônibus. A categoria de caminhões é responsável por 66,6% das emissões de Material Particulado, ao passo que os ônibus são responsáveis por 18,0%. Cabe destacar, que na categoria de veículos comerciais leves, os movidos a diesel são responsáveis por 93% das emissões totais de Material Particulado provenientes da categoria. Diante do exposto, constata-se que os veículos movidos a diesel são os principais responsáveis pela emissão do poluente pelo processo de exaustão.

Gráfico 16: Percentual das emissões de MP_{2,5} por escapamento por categoria de veículos da RMGV.



Para as emissões de Material Particulado provenientes de processos de desgaste de pneus e freios, a Tabela 14 apresenta as quantidades de Material Particulado para as frações de partículas PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} para cada categoria inventariada. De maneira geral, a categoria de automóveis é responsável pelas maiores taxas de Material Particulado, seguido da categoria de caminhões semipesados e pesados. Além disso, é possível observar que, em termos de frações de partículas, as emissões de PTS representaram cerca de 46,2% das emissões totais oriundas do processo de desgaste de pneus e freios, enquanto, que para o MP₁₀, suas emissões correspondem à 35,0%. Por fim, as emissões de MP_{2,5} representam cerca de 18,8% das emissões totais provenientes do processo de desgaste de pneus e freios.

Tabela 14: Emissões de Material Particulado por desgaste de pneus e freios.

Categoria	Combustível	Emissões de Material Particulado (kg/ano)		
		PTS	MP10	MP2,5
Automóveis	Gasolina C	9.501,50	7.204,44	3.863,25
	Etanol	9,30	7,05	3,78
	Flex Gasolina C	80.319,59	60.901,67	32.657,42
	Flex Etanol	6.180,22	4.686,10	2.512,84
	GNV	5.890,98	4.466,78	2.395,23
Comerciais leves	Gasolina C	1.868,60	1.416,85	759,76
	Etanol	3,22	2,44	1,31
	Flex Gasolina C	7.929,03	6.012,12	3.223,89
	Flex Etanol	610,10	462,60	248,06
	Diesel	9.467,54	7.178,69	3.849,44
Caminhões S leves	Diesel	1.183,22	893,62	484,04
Caminhões Leves		6.717,96	5.073,70	2.748,26
Caminhões Médios		17.341,70	13.168,09	7.052,74
Caminhões S Pesados		33.975,67	25.798,77	13.817,65
Caminhões Pesados		28.078,29	21.320,71	11.419,23
Ônibus Urbanos		20.405,69	15.494,67	8.298,84
Ônibus Rodoviários	Diesel	4.134,81	3.139,69	1.681,60
Micro-Ônibus		9.312,25	7.071,08	3.787,22
Motocicletas	Gasolina C	5.233,63	4.035,57	2.143,90
	Flex Gasolina C	4.111,52	3.170,33	1.684,24
	Flex Etanol	316,36	243,94	129,59
Total		252.591,21	191.748,93	102.762,29

Em relação as emissões por desgaste da pista, a Tabela 15 apresenta o quantitativo das emissões para cada categoria inventariada. De maneira geral, pode-se observar que, a categoria de automóveis e caminhões são as que mais emitem Material Particulado por desgaste de pista, apresentando taxas de emissão de PTS, MP₁₀ e MP_{2,5} muito semelhantes. Observa-se, em termos percentuais de frações de partículas emitidas pelo processo de desgaste da pista, que as emissões de PTS representam cerca de 56,5% das emissões totais, enquanto, que o MP₁₀ e o MP_{2,5} corresponde a 28,2% e 15,3% respectivamente.

Tabela 15: Emissões de Material Particulado por desgaste da pista.

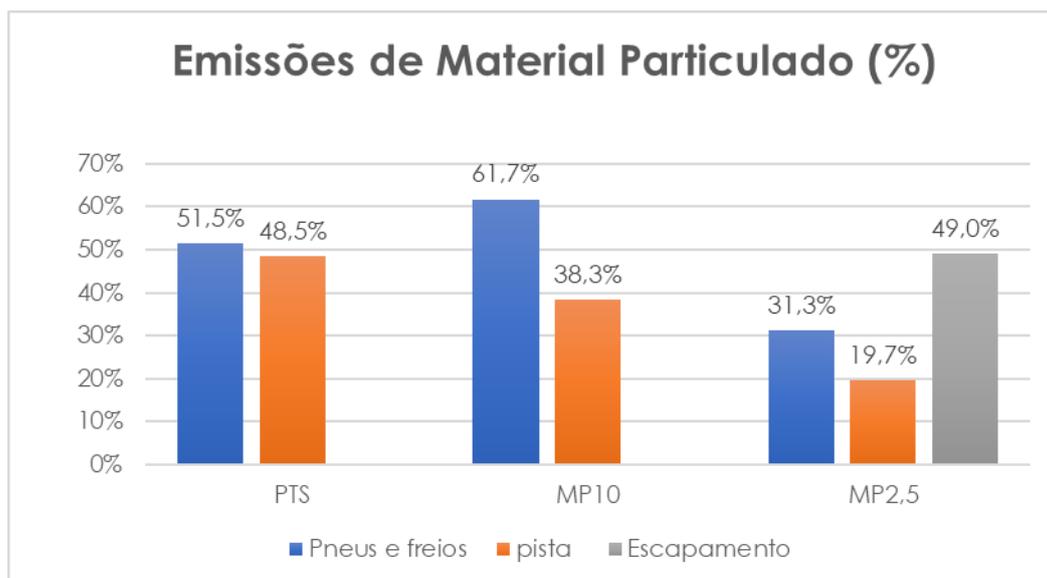
Categoria	Combustível	Emissões de Material Particulado (kg/ano)		
		PTS	MP10	MP2,5
Automóveis	Gasolina C	7.830,91	3.915,45	2.140,45
	Etanol	7,66	3,83	2,09
	Flex Gasolina C	66.197,47	33.098,73	18.093,97
	Flex Etanol	5.093,58	2.546,79	1.392,25
	GNV	4.855,2	2.427,6	1.327,09
Comerciais leves	Gasolina C	1.540,05	770,03	420,95
	Etanol	2,66	1,33	0,73
	Flex Gasolina C	6.534,92	3.267,46	1.786,21
	Flex Etanol	502,83	251,42	137,44
	Diesel	7.802,92	3.901,46	2.132,80
Caminhões S leves	Diesel	620,57	310,28	169,62
Caminhões Leves		3.523,41	1.761,70	963,06
Caminhões Médios		16.962,29	8.481,14	4.575,35
Caminhões S Pesados		33.232,32	16.616,16	8.963,98
Caminhões Pesados		27.463,97	13.731,98	7.408,04
Ônibus Urbanos		19.959,24	9.979,62	5.383,74
Ônibus Rodoviários	Diesel	19.959,24	9.979,62	5.383,74
Micro-Ônibus		9.108,51	4.554,25	2.456,90
Motocicletas	Gasolina C	3.783,35	1.891,67	1.008,89
	Flex Gasolina C	2.972,19	1.486,09	792,58
	Flex Etanol	228,70	114,35	60,99
Total		238.181,96	119.090,98	64.600,88

A partir dos resultados obtidos, foi possível estimar o quantitativo total para as emissões de Material Particulado nas diferentes frações de partículas inventariadas de acordo com sua fonte de emissão, conforme evidenciado na Tabela 16. Por meio do Gráfico 17, observa-se que das emissões totais de PTS, 51,5% são provenientes do processo de desgaste de pneus e freios, enquanto, que 48,5% advém do processo de desgaste da pista. Para as emissões totais de MP₁₀, 61,7% são provenientes do processo de desgaste de pneus e freios, ao passo, que 38,3% são oriundas do processo de desgaste da pista. Por fim, para as emissões totais de MP_{2,5}, 31,3% são provenientes do desgaste de pneus e freios, 19,7% do desgaste da pista, enquanto que o escapamento veicular é a principal fonte emissora, cuja contribuição foi de 49%.

Tabela 16: Estimativas das emissões totais de Material Particulado (kg/ano).

Emissões	PTS	MP ₁₀	MP _{2,5}
Pneus e Freios	252.591,21	191.748,93	102.762,29
Pista	238.181,96	119.090,98	64.600,88
Escapamento	-	-	161.341,30
Total	490.773,17	310.839,91	328.704,47

Gráfico 17: Percentual das emissões de Material Particulado por fonte de emissão.



Verifica-se que para o poluente Material Particulado, mesmo que as emissões provenientes do escapamento veiculares fossem nulas, o tráfego de veículos continuará sendo uma fonte geradora de partículas para a atmosfera por meio das emissões provenientes dos desgastes físicos dos materiais, ou seja, pelo processo de desgaste de pneus, freios e pista. Diante disso, é notório a necessidade de ações visando o desenvolvimento de estratégias para a redução das fontes emissões não exaustivas, visto que sua contribuição para a emissão de partículas lançadas para a atmosfera é expressiva.

5. CONCLUSÕES

A estimativa das emissões veiculares é importante para a avaliação das condições da qualidade do ar, sobretudo nos grandes centros urbanos, onde a contribuição de veículos automotores na emissão de poluentes atmosféricos é expressiva. O presente inventário buscou quantificar as emissões veiculares na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), tendo como base o ano de 2023. Foram estimadas as emissões por escapamento veicular, sendo empregados os dados da frota veicular da RMGV, intensidade de uso e fatores de emissão, a fim de estimar as emissões dos poluentes Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Metano (CH₄), Material Particulado (MP), Hidrocarbonetos Totais (HCT) e Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC), além das emissões de Material Particulado gerado pelo processo de desgaste de pneus, freios e pista e emissões de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) provenientes de processos evaporativos dos combustíveis.

De acordo com a análise dos resultados obtidos para a RMGV, o CO e o NO_x apresentaram-se como os poluentes mais emitidos. Para as emissões de NO_x, as maiores taxas foram observadas para as categorias de caminhões e ônibus, ou seja, veículos movidos a diesel. Mesmo a frota de veículos dessas categorias estando em menores quantidades, foram responsáveis pela maior parte das emissões de NO_x, reflexo, principalmente, dos fatores de emissão elevados para ambas as categorias do ciclo diesel. Para as emissões de CO, foram observadas elevadas taxas do poluente para a categoria de automóveis movidos a gasolina e os que apresentam tecnologia *flex fuel*, devido aos elevados fatores de emissão quando comparados a outras categorias inventariadas. As motocicletas movidas a gasolina também apresentaram altas taxas de emissão de CO, devido ao crescimento significativo dessa frota na Região Metropolitana da Grande Vitória, como também às políticas de redução de emissões menos restritivas, quando comparadas às outras categorias de veículos. Pode-se verificar também que a maior parte das emissões totais quantificadas se compõem dos poluentes CO e NO_x. Diante desse contexto, torna-se necessário ações visando promover a redução das emissões de ambos os poluentes lançados na atmosfera por veículos automotores, a fim de permitir a melhoria da qualidade do ar, sobretudo nos grandes centros urbanos.

Tratando-se das emissões de Material Particulado (PTS, MP₁₀ e MP_{2,5}) provenientes de desgaste de pneus, freios e pista, observou-se um comportamento similar para todas as

frações de partículas. A categoria de caminhões e ônibus somados, ou seja, veículos a diesel, são responsáveis pela maior parte das emissões para ambas as frações de partículas. Notou-se também, pelos resultados obtidos, que a categoria de automóveis também registrou elevados valores de emissão de Material Particulado para ambas as frações de partículas, devendo-se, em especial, à quantidade significativa de veículos que compõem essa frota quando comparada a outras categorias inventariadas. Verificou-se ainda que das emissões totais do poluente $MP_{2,5}$, a maior parte de suas emissões são provenientes do escapamento veicular, oriundas da categoria de caminhões e ônibus, ou seja, veículos do ciclo diesel, o que reforça a necessidade de ações para a viabilizar a redução das emissões desse poluente por essas categorias.

Para emissões de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) provenientes de escapamento veicular e por processo evaporativo, pode-se observar que a principal categoria responsável por essas emissões é a de automóveis, em especial os que apresentam tecnologia *flex fuel*. Isso se deve, em muito, ao aumento significativo dessa frota quando comparada a outras categorias inventariadas.

No que tange as emissões de Dióxido de Enxofre (SO_2), as maiores taxas dos poluentes foram provenientes de veículos a diesel, apesar da frota da categoria de veículos que utilizam esse combustível estar em menor número quando comparada à categoria de automóveis. Isso se ocorre em consequência do elevado teor de enxofre presente no diesel, em comparação com o teor de enxofre presente na gasolina.

Em relação às emissões totais de Hidrocarbonetos Totais (HCT), verificou-se por meio dos resultados obtidos, que as maiores taxas para o poluente foram provenientes da categoria de automóveis, seguido da categoria de caminhões.

Frente aos resultados obtidos, este trabalho reforça a importância da constante elaboração de atualizações dos inventários de emissões veiculares, fundamental, não apenas para quantificar, as emissões de poluentes atmosféricos provenientes de veículos automotores, como também para subsidiar a formulação e a implementação de políticas públicas pelos órgãos gestores voltados à redução das emissões por veículos automotores. Além disso, o IEV permite acompanhar a evolução das emissões ao longo do tempo e avaliar o impacto das medidas adotadas pelos órgãos gestores.

Portanto, espera-se que este inventário sirva como parâmetro norteador para formulação e gestão de políticas públicas relacionados a gestão da qualidade do ar na Região Metropolitana da Grande Vitória.

6. RECOMENDAÇÕES

Durante a elaboração do inventário, foram identificadas algumas lacunas em determinadas informações, o que exigiu a adoção de simplificações, a fim de viabilizar a utilização dos dados disponíveis no presente momento. Informações como a subdivisão da frota e a intensidade de uso podem apresentar um grau de incerteza significativo. Com vista à obtenção de resultados cada vez mais confiáveis, as principais recomendações estão relacionadas à subdivisão da frota e a intensidade de uso de referência.

Conforme metodologia já consolidada adotada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a frota de ônibus é subdividida nas categorias de ônibus urbanos e rodoviários, ao passo que a categoria de caminhões é subdividida pelo peso bruto total em caminhões semi leves, leves, médios, semi pesados e pesados. Os dados da frota de ônibus e caminhões disponibilizados pelo Departamento Estadual de Trânsito do Espírito Santo (Detran-ES) para o presente estudo não fazem a subdivisão em ônibus urbanos e rodoviários e nem Peso Bruto Total para a categoria de caminhões. Desta forma, de maneira a obter a categoria de caminhões pelo peso bruto total e a categoria de ônibus urbanos e rodoviários, conforme metodologia adotada pela CETESB, foram empregados valores percentuais de cada categoria obtidos a partir do Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2012, viabilizado assim, a estimativa da quantidade total de cada categoria presente no respectivo ano de fabricação. No entanto, esse procedimento pode acarretar algumas incertezas, haja vista que pode não refletir a quantidade total real de cada categoria no respectivo ano de fabricação na Região da Grande Vitória. Diante do exposto, de modo a minimizar as incertezas dos cálculos em inventários posteriores, recomenda-se que seja realizada essa subdivisão pelo órgão estadual de trânsito (Detran-ES), de forma que sejam fornecidos dados que apontem a quantidade real de veículos para cada categoria.

Dentre as variáveis envolvidas no cálculo de emissões veiculares, as curvas de intensidade de uso representam uma variável que apresenta grande incerteza. Representando a distância percorrida pelos veículos ao longo de um ano, valores da intensidade de uso de referência obtidos a partir das curvas de intensidade de referência devem ser ajustados por meio da razão entre o consumo observado e o consumo estimado de cada combustível, obtendo assim, a intensidade de uso

ajustada, de modo a corrigir a distância percorrida pelo veículo. Além disso, neste inventário, como dito anteriormente, os valores da intensidade de uso de referência empregados foram obtidos a partir do Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2011 e 2012, podendo não refletir a realidade da Região Metropolitana da Grande Vitória no ano base de 2023. Desta forma, diante do exposto, fica evidente a necessidade de melhorar as informações acerca da distância média anual percorrida pelos veículos, tanto de veículos leves como veículos pesados. Portanto, como recomendação para inventários futuros, para obtenção de valores atualizados de intensidades de uso de referência, sugere-se a elaboração de uma pesquisa de levantamento de dados, de modo a obter as curvas de intensidade de uso de referência características para a região metropolitana da Grande Vitória, ou senão para o Estado do Espírito Santo.

Outro ponto relevante está relacionado às emissões de Hidrocarbonetos Totais (HCT). As emissões de Hidrocarbonetos Totais (HCT) refere-se à soma de NMHC e CH₄ por escamento, sendo quantificadas mediante essa somatória, conforme metodologia adotada pelo Inventário Nacional de Emissões Veiculares, referente ao ano base 2012. Todavia, no presente inventário, suas emissões foram estimadas diretamente pela equação geral que estima as emissões por escamento, empregando diretamente os fatores de emissão do HCT, conforme obtido pelo relatório de emissões veiculares do Estado de São Paulo, disponibilizado pela CETESB. Desta forma, conforme análise dos resultados obtidos para o poluente HCT, suas emissões totais não coincidiram com a somatória das emissões de NMHC e CH₄. Diante disso, recomenda-se para os inventários de emissões veiculares posteriores, que as emissões de Hidrocarbonetos Totais sejam quantificadas conforme realizado no Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2012.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis -ANP. **Dados Estatísticos. Vendas de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis - 2023.** Disponível em:< <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Agencia Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis -ANP. Resolução ANP nº 807/ 2020, de 23 de janeiro de 2020. Estabelece a especificação da gasolina de uso automotivo e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidos pelos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. Brasília. 2020. Disponível em:< <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/gasolina>>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Agencia Nacional de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis – ANP. Resolução ANP nº 907/2022, de 18 de novembro de 2022. Dispõe sobre as especificações do etanol combustível e suas regras de comercialização em todo o território nacional. Brasília. 2022. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-907-2022-dispoe-sobre-as-especificacoes-do-etanol-combustivel-e-suas-regras-de-comercializacao-em-todo-o-territorio-nacional?origin=instituicao>>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Agencia de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo – ARSP. Dados Estatísticos sobre Vendas e Comercialização de Gás Natural Veicular na Grande Vitória. 2025.

Araújo, I. B. de. **Quantificação, Espacialização e Especificação das Emissões Atmosféricas de Origem Veicular na Região Metropolitana da Grande Vitória.** 2016. Orientadora: Profa. Dra. Taciana Toledo de Almeida Albuquerque. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Disponível em: <https://sappg.ufes.br/tese_drupal//tese_10586_Dissert_Igor_Baptista.pdf>.

Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP. **Sistemas de Informações da Mobilidade Urbana. Relatório Geral - 2018,** 2020. Disponível em:

<<https://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacoes-da-mobilidade--simob--2018.pdf>>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.
Metodologia de Cálculo do Inventário de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo. São Paulo. 2024. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2024/10/Metodologia-de-Calculo-do-Inventario-de-Emissoes-Veiculares-no-Estado-de-Sao-Paulo.pdf>>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB.
Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo - 2015. São Paulo. 2016. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2013/12/Relatorio-Emissoes-Veiculares-2015-v4_.pdf>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.
Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo - 2016. São Paulo. 2017 Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wpcontent/uploads/sites/6/2017/11/EMISS%C3%95ES-VEICULARES_09_nov.pdf>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.
Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo - 2023. São Paulo. 2024. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2024/11/Relatorio-Emissoes-Veiculares-no-Estado-de-Sao-Paulo-2023.pdf>>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.
Curvas de Intensidade de Uso por Tipo de Veículo Automotor da Frota da Cidade de São Paulo - 2013. São Paulo. 2013. Disponível em: <<https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/items/c48d4a24-55cd-4fba-97c7-3cd491336bab/full>>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.
Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo - 2022. São Paulo. 2023. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2024/04/Relatorio-emissoes-veiculares-2022.pdf>>. Acessado em 04 de agosto de 2025.

Corradini, F. **Efeito da Temperatura do Líquido de Arrefecimento na Produção de Emissões Poluentes de Motor de Ignição por Faísca**. 2005. Orientador: Prof. Dr. Mauricio Assumpção Trielli. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em:< https://automotiva-poliusp.org.br/wp-content/uploads/2013/02/corradini_fernando.pdf>. Acessado em 31 de julho de 2025.

CREDIDIO, Jeferson; SERRA Bruno (Coord.). **Estudo da frota circulante brasileira – Sindicato Nacional de Indústria de Componentes para Veículos Automotores - SINDIPEÇAS**. São Paulo, mar. 2008

Departamento Estadual de Trânsito do Espírito Santo – Detran -ES. Disponibilização da Frota Veicular da Região metropolitana da Grande Vitória referente ao ano base 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo 2022**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 05 de julho de 2024.

Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA. **Manual Proconve/Promot. Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores**. Brasília. 2011. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/phocadownload/veiculosautomotores/manual_proconve%20promot_portugues.pdf>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Instituto de Energia e Meio Ambiente – IEMA. **Estudo de Caso: Adiantamento do Cumprimento da Resolução do Conama nº490/2018 – Fase P8 do Proconve, 2020**. Disponível em: https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2020/10/IEMA_estudoproconveadiamento2020.pdf>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro – INEA. **Inventário de Emissões Veiculares, 2022. Rio de Janeiro. 2024**. Disponível em: https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2024/06/Invent%C3%A1rio-de-Emiss%C3%B5es-Veiculares-Ano-Base-2022-final_ok.pdf>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro – INEA. **Inventário [de] Emissões de fontes Veiculares: Região Metropolitana do Rio de Janeiro: ano-base 2013**. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2013/06/Invent%C3%A1rio-de-Emiss%C3%B5es-de-fontes-Veiculares-Regi%C3%A3o-Metropolitana-do-Rio-de-Janeiro-ano-base-2013.pdf>>.

[content/uploads/2019/01/Invent%C3%A1rio-de-Emiss%C3%B5es-de-Fontes-Veiculares.pdf](#)>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Instituto de Energia e Meio Ambiente- IEMA. **Primeiro Inventário Nacional de Emissões atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Relatório final.** Brasília. 2011.

Disponível em: https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2011/01/projeto_iema.pdf>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo. **Inventário de Emissões Atmosféricas da Região da Grande Vitória.** Espírito Santo, 2015

Disponível:<https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/INVENT%C3%81RIO/Ecosoft_RTC190018_R1.pdf>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo- IEMA. **Relatório de Avaliação da Qualidade do Ar na Grande Vitória – 2024.** Vitória. 2025. Disponível em:

https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/Relatorios_anuais/Relat%C3%B3rio_Anual_da_Qualidade_do_Ar%202024%20-%20Final.pdf>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. **Emissões Relativas de Poluentes de Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros – 2011.**

Brasília. 2011. Disponível em: <https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf>.

Acessado em 23 de julho de 2025.

Lei Estadual nº 12059, de 27 de março de 2024. Institui a Política Estadual de Qualidade do Ar, visando à preservação da saúde da população no estado do Espírito Santo e ao aprimoramento das condições de qualidade ambiental em todo o território estadual e dá outras providências. Disponível em:

<<https://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/LEI120592024.html>>.

Acessado em 23 de julho de 2025.

Lei Federal nº 14.850, de 2 de maio de 2024, que institui a Política Nacional de Qualidade do Ar. Disponível em:<

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14850.htm>. Acessado em 23 de julho de 2025.

Ministério do Meio Ambiente- MMA. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários.** Ano Base 2012 - Relatório Final. Brasília. 2013.

Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano->

[recursos-hidricos-qualidade-ambiental/qualidade-do-ar/repositorio/grupo-de-trabalho-inventario-nacional-de-emissoes-atmosfericas-por-veiculos-automotores-rodoviaros/inventario_de_emissoes_por_veiculos_rodoviaros_2013.pdf](#)>. Acessado em 23 de julho de 2025.

PEREIRA, D.D.B. **Cenários de Emissões de Poluentes Atmosféricos pela Frota do Transporte Coletivos de Juiz de Fora**. 2014. Orientadora: Profa. Aline Sarmento Procópio. 2014. Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitarista. – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2014. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC_DAYANADBPEREIRA_FINAL_18122014.pdf>. Acessado em 23 de julho de 2025.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. Óleo Diesel. Disponível em: <https://petrobras.com.br/quem-somos/oleo-diesel?p_l_back_url=%2Fresultado-da-busca%3Fq%3Doleo%2520diesel%2520>. Acessado em 24 de julho de 2025.

Resolução CONAMA nº 18/1986, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – Proconve. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/emissoes/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>>. Acessado em 24 de julho de 2025.

Resolução CONAMA nº 297/2002, de 26 de fevereiro de 2002. Estabelece limites para emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=294>. Acessado em 24 de julho de 2025.

SANTOS, F. S. dos. **Diagnóstico das Emissões Atmosféricas em Minas Gerais: Um estudo para as Fontes Fixas e Veiculares**. 2018. Orientadora: Orientadora: Profa. Dra. Taciana Toledo de Almeida Albuquerque. 2018. Dissertação (Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBDAYRKUJ/1/fabio_soares_dos_santos_disserta_o_final.pdf>. Acessado em 24 de julho de 2025.