RELATÓRIO DE EMISSÕES VEICULARES DO ESPÍRITO SANTO

ANO BASE

2024

iema
INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE

DETRAN | ES

GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO

GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO

RELATÓRIO DE **EMISSÕES VEICULARES** DO ESPÍRITO SANTO

ANO BASE:
2024

Cariacica
2026

GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO

Ricardo de Rezende Ferraço
Governador

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - SEAMA
Victor Ricciardi Rocha
Secretário

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE

Mario Stella Cassa Louzada
Diretor-geral

Gilberto Arpini Sipioni
Diretor Setorial de Licenciamento e Controle Ambiental

Helimar Rabello
Diretor Setorial de Patrimônio Natural

Rafael Almeida Lovo
Diretor Setorial Administrativo e Financeiro

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DO ESPÍRITO SANTO

Givaldo Vieira da Silva
Diretor-geral

João Paulo Viçosi
Diretor de Segurança no Trânsito

Raphael Piekarz Rocha
Diretor de Habilitação e Veículos

Jociane Oliveira Martins
Diretora Administrativa-financeira e de Gestão de Pessoas

Ficha técnica

Gerência de Qualidade Ambiental (GQA)

Vinicius Rocha Silva, Esp - Tecnólogo em Saneamento Ambiental
Gerente de Qualidade Ambiental

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. - Engenheira 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

Apresentação

É com satisfação que apresentamos o Relatório de Emissões Veiculares do Espírito Santo – ano base 2024. Esse documento é fruto da parceria entre o Iema e o Detran|ES, firmada por meio do Acordo de Cooperação Técnica nº 001/2026, que tem como objeto ampliar o conhecimento sobre a contribuição das emissões veiculares na qualidade do ar do Estado.

Por representarem uma importante fonte de poluentes atmosféricos, conhecer as emissões resultantes da circulação de veículos é fundamental para compreender melhor a qualidade do ar, bem como para desenvolver ações mais eficazes voltadas à proteção da saúde da população e do meio ambiente.

Neste sentido, a parceria firmada possibilitou o acesso e o tratamento de informações relacionadas à frota de veículos do Estado, constituindo uma base essencial para a realização das estimativas de emissões. A integração entre os órgãos reafirmou a importância da atuação conjunta e do compartilhamento de informações para a produção de conhecimento técnico capaz de subsidiar políticas públicas ambientais.

A avaliação das emissões veiculares permitirá identificar quais categorias de veículos e tipos de combustíveis apresentam maior participação na emissão de poluentes, possibilitando acompanhar sua evolução ao longo dos anos e subsidiar medidas de controle e redução das emissões. Dessa forma, o estudo não se limita apenas a um levantamento de dados, mas constitui uma importante ferramenta de planejamento e gestão da qualidade do ar.

O relatório em questão representa um importante instrumento para o fortalecimento das diretrizes estabelecidas pela Política Estadual de Qualidade do Ar do Espírito Santo, instituída pela Lei Estadual nº 12.059/2024 e busca atender o Decreto nº 6.706/2026, que regulamenta as ações relacionadas à gestão da qualidade do ar no Estado. Nesse contexto, o levantamento realizado visa contribuir para a construção de uma base de informações capaz de orientar ações de prevenção e controle da poluição atmosférica, bem como acompanhar os resultados das medidas adotadas pelo Governo do Espírito Santo.

Mário Stella Cassa Louzada
Diretor-geral
Iema

Givaldo Vieira da Silva
Diretor-geral
Detran|ES

Listas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Poluentes Inventariados por categoria de Veículo e Combustível 21

Tabela 2: População estimada por região no Estado do Espírito Santo 31

Tabela 3: Termos Específicos utilizados no Inventário. 39

Tabela 4: Definição das categorias de veículos aplicadas no Inventário. 41

Tabela 5: Percentual da categoria de caminhões conforme INEV 2024 43

Tabela 6: Percentual da categoria de ônibus conforme INEV 2024. 43

Tabela 7: Taxas anuais de sucateamento para Motocicletas. 45

Tabela 8: Fatores de Emissão de CO, NOx, NMHC e CH_4 para veículos movidos a GNV 51

Tabela 9: Distribuição da Frota Circulante do Estado do Espírito Santo. 63

Tabela 10: Estimativa da Frota circulante por Região do Estado do Espírito Santo. 68

Tabela 11: Percentuais da Frota Circulante por Região no Estado do Espírito Santo 69

Tabela 12: Estimativa da Frota Circulante da Região Metropolitana da Grande Vitória por Categoria de Veículo. 71

Tabela 13: Emissões de Escapamento Veicular no Estado do Espírito Santo. 79

Tabela 14: Estimativa das Emissões de Escapamento por Tipo de Combustível no Estado do Espírito Santo (Kg/ano). 88

Tabela 15: Percentual das Emissões de Escapamento por Fonte de Energia no Espírito Santo. 88

Tabela 16: Emissões Evaporativas de NMHC por Categoria no Espírito Santo. 99

Tabela 17: Emissões de Material Particulado por Desgaste de Pneus e Freios no Espírito Santo. 102

Tabela 18: Emissões de Material Particulado por Desgaste da Pista no Espírito Santo. 103

Tabela 19: Estimativa das Emissões de Material Particulado (Kg/ano) no Espírito Santo. 104

Tabela 20: Estimativas das Emissões Totais de Escapamento Veicular, Evaporativas e por Desgaste de Pneus, Freios e Pista. 106

Tabela 21: Emissões de Escapamento Veicular na Região Metropolitana da Grande Vitória por Categoria e Combustível. 109

Tabela 22: Estimativa das Emissões de Escapamento segmentada por Fonte de Energia (Kg/ano) 111

Tabela 23: Percentuais de Emissão de cada Poluente por Fonte de Energia. 111

Tabela 24: Estimativa das Emissões de Evaporativas de NMHC por Categoria na Região Metropolitana da Grande Vitória. 112

Tabela 25: Emissões de Material Particulado (MP) por Desgaste de Pneus e Freios para a Região Metropolitana da Grande Vitória. 115

Tabela 26: Emissões de Material Particulado por Desgaste da Pista para a Região Metropolitana da Grande Vitória 116

Tabela 27: Estimativa das Emissões Totais de Material Particulado (Kg/ano) na Região Metropolitana da Grande Vitória. 117

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Consumo Real Observado Comercializado de Combustível no Espírito Santo. 36

Gráfico 2: Percentual da Frota Circulante no Espírito Santo. 64

Gráfico 3: Percentual da Frota Circulante por Tipo de Combustível..... 64

Gráfico 4: Distribuição Percentual da Frota Circulante por Categoria por Combustível. 65

Gráfico 5: Percentual da Frota Circulante à Diesel no Espírito Santo. 66

Gráfico 6: Frota Circulante por Categoria na Região Metropolitana da Grande Vitória. 72

Gráfico 7: Percentual da Frota Circulante por tipo de Combustível. 73

Gráfico 8: Distribuição Percentual da Frota Circulante por Categoria de Veículo..... 74

Gráfico 9: Percentual da Frota Circulante à Diesel na Região Metropolitana da Grande Vitória. 74

Gráfico 10: Evolução da Frota Circulante na Região Metropolitana da Grande Vitória 77

Gráfico 11: Percentual das Emissões de Monóxido de Carbono (CO) por Categoria no Espírito Santo. 81

Gráfico 12: Percentual das Emissões de Óxidos de Nitrogênio (NOx) por Categoria no Espírito Santo. 82

Gráfico 13: Percentual das Emissões de Dióxido de Enxofre (SO_2) por Categoria no Espírito Santo. 83

Gráfico 14: Percentual das Emissões de Material Particulado ($MP_{2,5}$) de Escapamento por Categoria no Espírito Santo. 84

Gráfico 15: Percentual das Emissões de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) por Categoria no Espírito Santo..... 85

Gráfico 16: percentual das Emissões de Hidrocarbonetos Totais por Categoria no Espírito Santo. 86

Gráfico 17: Percentual das Emissões de Metano (CH_4) por categoria no Espírito Santo. 87

Gráfico 18: Percentuais das Emissões de Monóxido de Carbono (CO) por Categoria e Região. 92

Gráfico 19: Percentuais de Emissão de Óxidos de Nitrogênio (NOx) por Categoria e Região. 93

Gráfico 20: Percentuais de Emissão de Dióxido de Enxofre (SO_2) por Categoria e Região. 94

Gráfico 21: Percentuais de Emissão de Material Particulado ($MP_{2,5}$) de Escapamento por Categoria e Região. 95

Gráfico 22:entuais de Emissão de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) por Categoria e Região. 96

Gráfico 23: Percentuais de Emissão de Hidrocarbonetos Totais (HCT) por Categoria e Região. 97

Gráfico 24: Percentuais de Emissão de Metano (CH_4) por Categoria e Região. 98

Gráfico 25: Percentuais das Fases de Emissão Evaporativas. 100

Gráfico 26: Percentuais de Emissão Evaporativa de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) por Categoria em Cada Fase no Espírito Santo. 100

Gráfico 27: Percentuais das Emissões de Material Particulado (MP) por Fonte de Emissão. 104

Gráfico 28: Percentuais das Fases de Emissão Evaporativas da região metropolitana da Grande Vitória. 113

Gráfico 29: Percentuais de Emissão de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) por Categoria em cada Fase Evaporativa. 113

Gráfico 30: Percentuais de Emissão de Material Particulado (MP) por Fonte de Emissão na Região Metropolitana da Grande Vitória 117

Gráfico 31: Evolução das Emissões de CO na Região Metropolitana da Grande Vitória. 119

Gráfico 32: Evolução das Emissões de NOx na Região Metropolitana da Grande Vitória. 119

Gráfico 33: Evolução das Emissões de SO_2 na Região Metropolitana da Grande Vitória. 120

Gráfico 34: Evolução das Emissões de $MP_{2,5}$ na Região Metropolitana da Grande Vitória. 121

Gráfico 35: Evolução das Emissões de CH_4 na região Metropolitana da Grande Vitória. 121

Gráfico 36: Evolução das Emissões de NMHC na Região Metropolitana da Grande Vitória. 122

Gráfico 37: Evolução das Emissões de HCT na Região Metropolitana da Grande Vitoria. 122

Gráfico 38: Evolução das Emissões de material particulado oriundos de desgaste de pneus e freios na Região Metropolitana da Grande Vitória. 123

Gráfico 39: Evolução das Emissões de Material Particulado Oriundos do Desgaste da Pista na Região Metropolitana da Grande Vitoria. 123

Gráfico 40: Evolução das Emissões Evaporativas de NMHC por Fase de Emissão na Região Metropolitana da Grande Vitória. 124

GLOSSÁRIO

Anfavea - Associação Nacional do Fabricantes de Veículos Automotores

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

CH_4 – Metano

CO - Monóxido de Carbono

Conama - Conselho Nacional do Meio Ambiente

GNV - Gás Natural Veicular

H_2O - Vapor d'Água

HCT - Hidrocarbonetos Totais

I/M - Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso

Ibama - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

Iema - Instituto Estadual de Meio Ambiente

Inea - Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro

Inev - Inventário Nacional de Emissões Veiculares

MMAMC - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

MP_{10} - Material Particulado menor ou igual a 10 micrometros de diâmetro

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

N_2 - Nitrogênio

NMHC - Hidrocarbonetos não metano

$NMHC_{escap}$ - Hidrocarbonetos não metano provenientes de emissões de escapamento

$NMHC_{evap}$ - Hidrocarbonetos não metano provenientes de emissões evaporativas

NO_x - Óxido de Nitrogênio

OMS - Organização Mundial da Saúde

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios

PROCONVE -Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículo

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

PTS - Partículas Totais em Suspensão

Renovar - Programa de Sucateamento e de Reciclagem de Veículos e de Renovação de Frotas de Veículos Automotores

RMGV - Região Metropolitana da Grande Vitória

SO_2 - Dióxido de Enxofre

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15

1.1. Apresentação geral 15

1.2. A Política Nacional de Qualidade do Ar 18

1.3. Poluentes Atmosféricos Inventariados 20

1.4. Características dos combustíveis 22

1.4.1. Gasolina 23

1.4.2. Etanol 24

1.4.3. Gás Natural Veicular – GNV 25

1.4.4. Diesel 26

2. ARÉA DE ESTUDO 28

2.1. Caracterização da Região Geográfica de Estudo 28

2.2. Aspectos Sociodemográficos 30

2.3. Aspectos Socioeconômicos 32

2.4. Volume de Combustível 32

3. METODOLOGIA 38

3.1. Frota Registrada 40

3.2. Estimativa da Frota Circulante 43

3.3. Curvas de Intensidade de Uso 45

3.4. Fatores de Emissão 47

3.5. Estimativas das Emissões Veiculares 52

3.5.1. Estimativas das Emissões por Escapamento 53

3.5.2. Estimativa das Emissões Evaporativas 56

3.5.3. Estimativas das Emissões por Desgaste de Pneus, Freios e da Pista 59

4. RESULTADOS 61

4.1. Frota Circulante 61

4.1.1. Espírito Santo 61

4.1.2. Região Metropolitana da Grande Vitória 70

4.1.2.1. Evolução da Frota Circulante na Região Metropolitana da Grande Vitória 75

4.2. Emissões Veiculares 78

4.2.1. Estimativa de Emissão por Escapamento Veicular no Espírito Santo 78

4.2.2. Estimativa de Emissão por Escapamento Regionalizada 89

4.2.3. Estimativa de Emissão Evaporativa e por Desgaste de Pneus, Freios e Pista no Espírito Santo 99

4.2.4. Estimativas das Emissões Totais no Espírito Santo 105

4.2.5. Estimativa de Emissão na Região Metropolitana da Grande Vitória 107

4.2.5.1. Evolução das Emissões na Região Metropolitana da Grande Vitória 118

5. CONCLUSÕES 125

6. RECOMENDAÇÕES 128

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 130

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 emissões 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 dos 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 (SO_2), Material Particulado ($MP_{2,5}$

[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

e MP_{10}), Hidrocarbonetos Totais, Metano (CH_4) 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 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) do Estado do Espírito Santo, tendo por base o ano de 2024, a partir das informações obtidas em parceria com o Departamento Estadual de Trânsito do Espírito Santo (Detran | ES), utilizando-se de metodologia consolidada, de modo a viabilizar as estimativas das emissões provenientes de fontes móveis (veículos leves, motocicletas e pesados). Sua elaboração envolve a coleta de dados, o cálculo das emissões e, por fim, a apresentação de resultados.

O IEV da Região Metropolitana da Grande Vitória (RGMV) busca atender às diretrizes estabelecidas pela Política Nacional de Qualidade do Ar (Lei nº 14.850/2024 de 02 de maio de 2024) e pela Política Estadual de Qualidade do Ar (Lei nº 12.059/2024 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 e tendências das emissões ao longo do tempo e avaliar o impacto das medidas já adotadas pelos órgãos gestores.

Os estudos de Inventários de Emissões Veiculares servem de base para formulação de políticas públicas e para o acompanhamento de sua eficiência, como por exemplo, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (Promot), 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).

Portanto, os Inventários de Emissões Veiculares consistem de uma ferramenta crucial visando a redução de gases poluentes. Além disso, sua implementação e aprimoramento contínuo consiste em ferramenta fundamental para que se consiga atender aos compromissos assumidos conforme definem as legislações ambientais vigentes.

1.2. A Política Nacional de Qualidade do Ar

A Lei nº 14.850/2024 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 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, consequentemente, 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 Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (Promot) em 2002 por meio da resolução CONAMA nº 297/2002. De maneira análoga ao Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (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 nº 14.440 institui o programa Renovar, enquanto o Decreto nº 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 (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 (CO_2), vapor d'água (H_2O) e nitrogênio (N_2). 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 (CH_4) 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 (SO_2), hidrocarbonetos não-metano (NMHC), metano (CH_4) 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 com diâmetro de partícula 35, 10 e 2,5 µm, 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 ($MP_{2,5}$)	✓	-	✓	-	✓	-
Monóxido de Carbono (CO)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Óxidos de Nitrogênio (NO_x)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dióxido de Enxofre (SO_2)	✓	-	✓	-	✓	-
NMHCescap	✓	✓	✓	✓	-	✓
Metano (CH_4)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
HCT	✓	✓	✓	✓	✓	-
Emissões Evaporativas						
NMHCevap	✓	✓	-	-	-	-
Emissões por Desgaste de Freios, Pneus e Pista						
Material Particulado (MP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓

As emissões atmosféricas originadas no processo de exaustão (escapamento) contemplam o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (MP), hidrocarbonetos não-metano (NMHC), metano (CH_4), dióxido de enxofre (SO_2) e hidrocarbonetos Totais (HCT). É fundamental destacar que a maioria desses poluentes MP, CO, NOx, NMHC, CH_4 e HCT possui limites de emissão rigorosamente regulamentados pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve). No caso do Dióxido de Enxofre (SO_2), o controle exercido pelo programa ocorre de forma indireta, por meio da determinação do teor máximo de enxofre permitido nos combustíveis comercializados.

Adicionalmente, tratando-se das emissões de hidrocarbonetos não-metano (NMHCevap), originadas por processos evaporativos em veículos do Ciclo Otto, também são regulamentadas pelo Proconve. Em contrapartida, as emissões de Material Particulado provenientes do desgaste abrasivo de freios, pneus e da pista, não possuem regulamentação vigente no Brasil. Embora não regulamentadas, a inclusão dessas fontes não exaustivas representam uma parcela crescente da carga poluidora em áreas urbanas.

1.4. Características dos Combustíveis

Além da defasagem tecnológica dos veículos e do perfil de rodagem, as características físico-químicas dos combustíveis desempenham um papel determinante na composição das emissões. A eficiência da combustão e a integridade dos sistemas de pós-tratamento estão intrinsecamente ligadas às propriedades do que é queimado nas câmaras de combustão. Desta forma, o tipo de combustível empregado e a qualidade do combustível influenciam diretamente a quantidade de poluente que é emitido para a atmosfera. Combustíveis de baixa qualidade e com altos teores de contaminantes acarretam o aumento do consumo de combustível, consequentemente, aumentando a quantidade de poluentes atmosféricos que lançados na atmosfera.

Historicamente, o controle das emissões veiculares no Brasil é regido por um cronograma de fases, estabelecido pelo Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), que impõe limites cada vez mais restritivos às montadoras e refinarias. Esse esforço coordenado garante que a evolução dos motores seja acompanhada por uma infraestrutura energética compatível. Nesse cenário, 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 dos combustíveis.

Ressalta-se, ainda, que o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMAMC), por meio do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (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 fosseis e a redução gradual do teor de enxofre no óleo diesel e na gasolina *(Corradini, 2005)*.

1.4.1. Gasolina

Dentre os combustíveis, destaca-se a gasolina, amplamente utilizada em veículos automotores. Trata-se de um combustível de origem fóssil obtido a partir do refino do petróleo, cuja composição varia conforme o tipo de uso e os processos empregados em sua produção. Como principais características, a gasolina é um líquido inflamável e volátil e, quando destinada ao uso automotivo, é formada por uma mistura de hidrocarbonetos que possuem entre 4 e 12 átomos de carbono.

A gasolina destinada ao uso veicular, para ser considerada adequada ao consumo, deve atender plenamente às especificações técnicas estabelecidas pela Resolução ANP nº 807/2020, independentemente de sua origem. Trata-se do combustível mais consumido no país, sendo amplamente utilizado em motores do Ciclo Otto, presentes em automóveis, veículos comerciais leves e motocicletas. A produção da gasolina A é realizada por refinarias, centrais

petroquímicas e formuladores autorizados, sendo posteriormente encaminhada às distribuidoras. Nessas unidades, ocorre a adição de etanol anidro, em proporção aproximada de 30%, conforme a legislação vigente, resultando na gasolina C, que é a única disponibilizada para venda nos postos revendedores.

Conforme enunciado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (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 (SO_2) 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.

Os veículos automotores movidos a gasolina são responsáveis pela emissão de diversas substâncias poluentes na atmosfera, dentre as quais se destacam o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos Totais (HCT), hidrocarbonetos não-metano (NMHC), metano (CH_4), material particulado (MP) e os óxidos de enxofre (SOx). Esses poluentes contribuem significativamente para a degradação da qualidade do ar e para impactos à saúde humana e ao meio ambiente. Destaca-se, ainda, que os veículos leves, como os automóveis, são os principais emissores de monóxido de carbono (CO), em razão da ampla utilização e da predominância desse tipo de transporte no cotidiano.

1.4.2. Etanol

Diante da necessidade de reduzir os impactos ambientais e a dependência de combustíveis fósseis, torna-se cada vez mais relevante o uso de fontes de energia renováveis. Nesse contexto, os biocombustíveis ganham destaque por serem produzidos a partir de matéria-prima renovável e por apresentarem menor contribuição para a emissão de poluentes.

O etanol, também conhecido como álcool etílico, é um combustível renovável, líquido, incolor, de odor característico e altamente inflamável. Trata-se de uma substância química de fórmula molecular C_2H_6O, produzida principalmente por meio da fermentação de açúcares, com destaque para a cana-de-açúcar.

Esse composto possui ampla aplicação em diversos processos, sendo amplamente utilizado como combustível em motores de combustão interna do Ciclo Otto, podendo atuar como alternativa à gasolina.

No Brasil, o etanol combustível passou a ser amplamente utilizado a partir do final da década de 1970, sendo comercializado nas formas de etanol anidro e etanol hidratado. O etanol anidro apresenta teor de água praticamente nulo e é utilizado na composição da gasolina C. Já o etanol hidratado possui cerca de 5% de água em volume, sendo empregado diretamente como combustível em veículos automotores. O etanol hidratado pode ser utilizado tanto em veículos projetados exclusivamente para o uso de etanol quanto em veículos equipados com tecnologia *flex fuel*, que permitem o uso de etanol, gasolina ou a mistura de ambos em quaisquer proporções.

A qualidade do etanol combustível é avaliada, entre outros parâmetros, pela quantidade de metanol presente em sua composição. De acordo com a Resolução ANP nº 907/2022, o limite máximo permitido de metanol no etanol combustível é de 0,5% em volume. Essa exigência foi estabelecida com o objetivo de coibir a utilização do metanol como agente adulterante do etanol combustível, garantindo assim maior segurança e qualidade ao produto comercializado.

O etanol combustível, além de ser uma fonte renovável devido à sua origem, apresenta a vantagem de emitir menores quantidades de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos Totais (HCT) e material particulado (MP) quando comparado à gasolina C. Todavia, por possuir maior teor de oxigênio em sua estrutura molecular, favorece a formação de hidrocarbonetos oxigenados. Em associação com os óxidos de nitrogênio (NOx), esses compostos podem contribuir para a formação do smog fotoquímico e, consequentemente, do ozônio troposférico. Esse, por sua vez, é um gás de efeito estufa de curta duração e potencialmente prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente.

1.4.3. Gás Natural Veicular – GNV

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos de baixo peso molecular que permanece no estado gasoso em condições atmosféricas normais. É extraído

de reservatórios naturais, frequentemente associados às jazidas de petróleo, sendo constituído predominantemente por metano, geralmente, em proporções superiores a 70%, além de pequenas quantidades de outros hidrocarbonetos leves, como etano, propano e butano. Por outro lado, o Gás Natural Veicular (GNV) é uma mistura derivada do gás natural ou do biometano, destinada ao uso como combustível automotivo, tendo o metano como seu principal componente. Ele é utilizado em motores do Ciclo Otto, sendo comum em veículos originalmente projetados para o uso de gasolina ou etanol, que posteriormente são adaptados para a utilização do GNV.

As emissões de poluentes atmosféricos provenientes de veículos convertidos para o uso de GNV são significativamente menores quando comparadas às de combustíveis fósseis como gasolina e diesel. Isso se deve, principalmente, à sua combustão mais completa e à ausência de compostos como enxofre, hidrocarbonetos pesados e chumbo em sua composição. Além disso, em ambientes urbanos, o uso adequado do gás natural veicular contribui para a redução expressiva das emissões de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NOx), quando comparado aos combustíveis tradicionais.

1.4.4. Diesel

A demanda por energia no setor de transportes e na atividade industrial impulsiona o uso de diferentes tipos de combustíveis, cada um com características específicas de desempenho, eficiência e impacto ambiental. Entre os combustíveis fósseis amplamente utilizados, destaca-se o diesel, que desempenha papel fundamental na economia global devido à sua elevada eficiência energética e versatilidade de aplicação.

O diesel é um combustível derivado da destilação do petróleo bruto, sendo composto principalmente por uma mistura complexa de hidrocarbonetos com cadeias que variam entre 8 e 16 átomos de carbono. Em menores concentrações, pode conter enxofre, nitrogênio e oxigênio, além de aditivos utilizados para melhorar seu desempenho e eficiência. Trata-se de um combustível de odor característico e baixa volatilidade, amplamente utilizado em veículos rodoviários de transporte de passageiros e de carga, no transporte

marítimo, em aplicações industriais para geração de energia e diversas outras finalidades.

A preocupação com a qualidade dos combustíveis tem aumentado significativamente nas últimas décadas, especialmente devido aos impactos ambientais associados às emissões veiculares. Nesse contexto, a redução de substâncias poluentes, como o enxofre presente no diesel, tornou-se uma das principais estratégias para diminuir a poluição atmosférica provenientes do combustível. Sua qualidade é determinada principalmente pelo teor de enxofre presente em sua composição, sendo considerado de melhor qualidade quanto menor for essa concentração. No Brasil, o diesel comercializado é classificado em rodoviário e marítimo, sendo que, para fins de inventário de emissões veiculares, é considerado apenas o diesel rodoviário. No transporte rodoviário, são disponibilizados dois tipos principais: o diesel S500 e o diesel S10, com teores máximos de enxofre de 500 mg/kg e 10 mg/kg, respectivamente.

O óleo diesel S500 foi desenvolvido para atender veículos leves e pesados fabricados antes de 2012. Trata-se de um combustível adequado às tecnologias de combustão e aos sistemas de controle de emissões que não utilizam pós-tratamento, proporcionando um melhor custo-benefício para esse tipo de aplicação. Por sua vez, o óleo diesel S10 foi desenvolvido para veículos leves e pesados produzidos a partir de 2012, em conformidade com as tecnologias mais modernas de combustão e de tratamento de emissões veiculares. Esse combustível contribui para uma maior eficiência energética e menor impacto ambiental, além de promover a redução das emissões de óxidos de nitrogênio (NOx).

Os veículos automotores movidos a diesel emitem diversos poluentes atmosféricos durante o processo de combustão. Entre os principais estão o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NOx), os hidrocarbonetos Totais (HCT), o material particulado (MP) e o dióxido de enxofre (SO_2). Essas substâncias representam riscos significativos à saúde humana e também contribuem para importantes impactos ambientais, como a degradação da qualidade do ar e o agravamento de problemas atmosféricos.

2. ARÉA DE ESTUDO

2.1. Caracterização da Região Geográfica de Estudo

O Estado do Espírito Santo é uma das 27 unidades federativas do Brasil, e se localiza na região sudeste do País, sendo esta região mais industrializada do Brasil. O Estado possui 78 municípios distribuídos em uma área territorial de 46.074,448 Km^2, fazendo divisa com o estado da Bahia ao norte, Minas Gerais a oeste, Rio de Janeiro ao sul e com o Oceano Atlântico a leste.

A configuração geomorfológica do Espírito Santo é definida por um contraste marcante entre planícies costeiras e as zonas serranas do interior. A baixada litorânea compreende aproximadamente 40% da área estadual, apresentando variações distintas ao longo da costa. Enquanto que o litoral sul é caracterizado por formações rochosas e falésias, a seção central é recortada por baias e afloramentos graníticos a beira mar. Em contrapartida, o norte do Estado possui um relevo predominantemente arenoso, com praias extensas e vegetação rasteira, onde se destacam as Dunas de Itaúnas. Adentrando para o interior, o território é constituído por Planaltos e Serras, compreendendo 60% do território Estadual. Nessa Região Interiorana, o relevo constituído por maciços montanhosos, com ênfase na Serra do Caparaó, próximo ao Estado de Minas Gerais.

Em termos de uso e ocupação do solo, observa-se uma predominância de atividades ligadas ao setor primário e a transformação, com 65 % do território do Estado do Espirito Santo é ocupado predominantemente por zonas de cunho agrossilvopastoril e agroindustrial. A cobertura vegetal nativa, mesmo que dispersas, compreendem cerca de 20% do território. Por outro lado, as zonas urbanas englobam aproximadamente 1% do solo capixaba, sendo representada principalmente pela Região Metropolitana da Grande Vitória - RMGV, que dispõe de cerca de 47% da área edificada do estado,

consolidando como o principal núcleo de impermeabilização e atividade urbana.

No que tange ao clima do Espírito Santo, é condicionado pela sua configuração geográfica, caracterizada por uma extensão longitudinal estreita e uma vasta fachada costeira no eixo Norte-Sul. O Estado do Espírito Santo apresenta clima predominantemente úmido, havendo diferenciação nas áreas de planície litorânea e nas porções interioranas. A planície litorânea compreende a uma faixa de 400 km, que por sua vez, sofre a influência significativa da maritimidade. Por outro lado, nas porções interioranas, devido a ocorrência de maiores elevações, apresenta características típicas de clima subtropical, com temperaturas amenas, verões chuvosos e invernos amenos. As temperaturas são elevadas na maior parte do ano, com médias de 23°C e as chuvas se concentrando no verão, no qual o índice pluviométrico pode chegar aos 1800 mm, sendo a média do estado estar em torno de 1400 mm.

Em conformidade com a Lei Estadual nº 9.768/2011, o território do Estado do Espírito Santo é organizado em quatro macrorregiões, sendo elas a Região Metropolitana, Norte, Sul e Central. A macrorregião Metropolitana engloba as microrregiões Metropolitana, Sudoeste Serrana e Central Serrana, o que compreende aos munícipios da Grande Vitoria, como Cariacica, Vitória, Vila Velha, Serra, Guarapari, Fundão e Viana, além de municípios mais interioranos e montanhosos como Laranja da Terra, Itaguaçu, Santa Teresa, Domingos Martins, Santa Maria de Jetibá, Santa Leopoldina, Marechal Floriano, Afonso Cláudio, Conceição do Castelo, Itarana, Venda Nova do Imigrante e Brejetuba, totalizando 19 municípios.

Todavia, para fins metodológicos deste Inventário, ressalta-se que a região Metropolitana conforme descrita na lei 9.768/2011, foi fragmentada em duas áreas distintas: Região Serrana e Região Metropolitana da Grande Vitoria. Essa fragmentação do Inventario permite isolar os municípios da Região Metropolitana da Grande Vitoria para um monitoramento mais detalhado. Por se consolidar como o principal polo industrial do Estado, concentrando grandes complexos de siderurgia e mineração, além de possuir uma frota de veículos significativamente maior que as outras regiões, a Região Metropolitana da Grande Vitória exige uma análise mais especifica e detalhada.

Adicionalmente, a inclusão de municípios do interior Serrano na mesma amostragem acarretaria distorções estatísticas, uma vez que o perfil de emissão desses municípios difere do perfil de fontes fixas e móveis concentradas no aglomerado urbano da Região Metropolitana da Grande Vitória.

2.2. Aspectos Sociodemográficos

Segundo dados disponibilizado pelo censo realizado pelo Instituto Brasileiro de geografia e Estatista (IBGE) em 2022, o Estado do Espírito Santo possui uma população estimada de 3.833.710 habitantes, apresentando-se como a 15º maior população do País. Em termos de densidade demográfica, o Estado do Espírito Santo possui uma densidade demográfica de 83,20 Hab./km^2, possuindo a 7ª maior densidade demográfica do País. No ano de 2022, o Estado do Espírito Santo apresentou uma média de 75,36% de acesso aos serviços de esgoto sanitário em relação ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), segundo os dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o IDH estadual de 0,771, ocupa a 5ª posição no país.

A análise da Tabela 2 aponta que a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) se sobressai como o principal polo demográfico do Espírito Santo, concentrando cerca de 49% da população estadual. Essa densidade demográfica é reflexo do elevado grau de desenvolvimento econômico da região, impulsionado por complexos industriais e portuários, além de um intenso tráfego veicular. Como consequência direta dessa concentração urbana e industrial, a RMGV apresenta impactos mais acentuados na qualidade do ar e nos indicadores de qualidade de vida da população. Em contrapartida, a Região Sul do Espírito Santo consolida-se como o segundo maior aglomerado demográfico do Estado, abrigando cerca de 17,8% da população residente. Diferentemente da elevada concentração observada na Região da Grande Vitória, a Região Sul apresenta uma rede urbana mais distribuída, onde os municípios de médio porte exercem papeis fundamentais na interiorização do desenvolvimento e na manutenção do fluxo migratório regional.

A Região Central do Estado, a soma de seus municípios responde por aproximadamente 15, 62% da população residente no Estado, com destaque para Linhares e Aracruz, no qual exercem influência direta sobre a Região. Já

as Regiões Norte e Serrana, registra-se percentuais populacionais inferiores à demais regiões descritas, respondendo por 11,14% e 6,4%, respectivamente, da população total residente no Estado do Espírito Santo.

Tabela 2: População estimada por região no Estado do Espírito Santo

Região	População	Percentual %
Norte	427.038	11,1
Cental	599.014	15,6
Serrana	245.324	6,4
RMGV	1.880.828	49,1
Sul	681.506	17,8
Espírito Santo	3.833.710	100,0

2.3. Aspectos Socioeconômicos

Segundo o Instituto Jones do Santos Neves - IJSN, o Estado do Espírito Santo encerrou o ano de 2024 com um crescimento real de 2,6%, em relação ao ano de 2023, atingindo um montante de 206,2 bilhões. Embora o avanço tenha ficado aquém da média nacional, o resultado positivo para o crescimento da economia capixaba foi sustentado principalmente pelo setor de serviços, que registrou uma expansão de 6,2% e, em menor proporção, pelo comércio varejista ampliado, que teve acréscimo de 2,0%. Além disso, o crescimento da atividade econômica capixaba foi reforçado pela previsão do aumento da produção agrícola das principais culturas do estado.

No que tange ao mercado de trabalho para o ano de 2024, conforme dados disponibilizados pelo Instituto Jones dos Santos Neves (2025), a taxa de desocupação apresentou um recuo expressivo, passando de 5,7% no ano anterior para 3,9%, totalizando 86 mil desempregados. Esse movimento foi condicionado pela expansão da população ocupada, que por sua vez, cresceu 3,2%, atingindo a marca de 2,1 milhões de trabalhadores. O aumento das ocupações foi impulsionado pelo crescimento dos empregados pelo setor privado, além da ocorrência do crescimento de empregadores e os trabalhadores por conta própria, com crescimento de 7,5% e 5,3%, respectivamente.

2.4. Volume de Combustível

A frota brasileira de veículos é caracterizada por uma das matrizes energéticas mais diversificadas e sustentáveis do mundo. Diferente de muitos mercados globais que dependem exclusivamente de derivados de petróleo, o Brasil desenvolveu, ao longo de décadas, uma infraestrutura que integra biocombustíveis e combustíveis fósseis de forma intercambiável. Essa versatilidade permite ao consumidor adaptar seu consumo conforme a viabilidade econômica e ambiental. No Espírito Santo essa realidade não é diferente. O Estado reflete exatamente o padrão nacional de consumo, equilibrando a utilização de fontes renováveis e fósseis em seus principais eixos rodoviários. A distribuição do uso de energia no setor de transportes capixaba

segue critérios técnicos e regulatórios específicos para cada modalidade. Enquanto a frota leve foca na flexibilidade entre etanol e gasolina, o setor de transporte de cargas e passageiros ainda se sustenta na densidade energética de combustíveis específicos.

Desta forma, no Espírito Santo, a utilização de combustíveis organiza-se da seguinte maneira:

- **Automóveis**: Utilizam, basicamente, combustíveis como gasolina C, gasolina C-etanol hidratado (*flex fuel*), etanol hidratado e Gás Natural Veicular (GNV).
- **Motocicletas**: A categoria utiliza prioritariamente gasolina C e misturas de gasolina C-etanol hidratado (*flex fuel*).
- **Comerciais Leves**: Podem utilizar gasolina C, etanol hidratado, gasolina C-etanol (*flex fuel*), além do diesel.
- **Veículos Pesados**: De maneira geral, utilizam somente o diesel como combustível.
- **Micro-ônibus**: De maneira Geral, utilizam somente o diesel como combustível.

A elaboração de um Inventário de Emissões Veiculares pressupõe a determinação exata do consumo real de combustíveis comercializados na área geográfica de estudo, neste caso o Estado do Espírito Santo. Este dado, obtido via balanço de vendas de combustíveis líquidos e gasosos é o parâmetro fundamental para a validação das estimativas de emissões de poluentes atmosféricos provenientes de veículos automotores. Este consumo mostra-se importante, pois, por meio dele, é possível fazer o ajuste no valor da intensidade de uso de referência, que consiste na distância anual percorrida pelos veículos automotores. Além disso, para a consolidação deste Inventário de Emissões Veiculares, utilizou-se o consumo real observado e comercializado no ano de 2024, abrangendo a totalidade dos 78 municípios do Estado.

A utilização de dados de consumo real é um requisito metodológico para a validação do balanço energético da frota circulante e a correta atribuição das emissões por categoria. As estatísticas de consumo foram obtidas junto aos órgãos reguladores competentes, como Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo (ARSP), conforme a natureza do combustível.

Ressalta-se, porém, que o consumo real observado de Gás Natural Veicular (GNV) apresenta uma restrição geográfica em relação aos demais combustíveis. Enquanto os dados de combustíveis líquidos abrangem todo o Estado, as estatísticas de GNV disponibilizadas referem-se estritamente à Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV). Para fins de quantificação e modelagem de emissões, o consumo de GNV foi aplicado exclusivamente aos municípios de Vitória, Cariacica Serra e Vila Velha. Esta decisão metodológica justifica-se pela existência de rede de distribuição de gás natural canalizado nessas localidades, infraestrutura que viabiliza o abastecimento dos postos de revenda. Embora a RMGV inclua também os municípios de Fundão, Guarapari e Viana, a ausência de rede de distribuição canalizada nesses municípios impede o registro de consumo real comercializado. Consequentemente, para as Regiões Norte, Central, Serrana e Sul do Estado do Espírito Santo, a estimativa de emissões provenientes de automóveis convertidos ao GNV não foi contemplada em virtude da inexistência de aferição do consumo real observado comercializado.

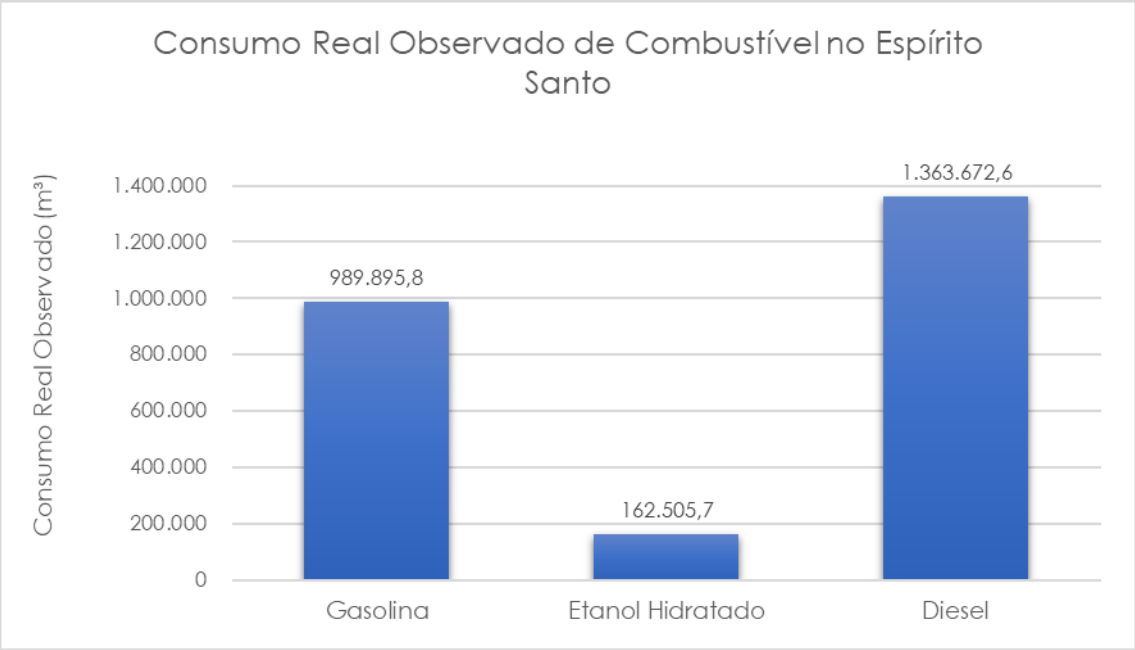
Cabe destacar que, para efeito do presente inventário, foi considerado que o volume de combustível real observado comercializado no Estado do Espírito Santo foi consumido no mesmo período e na região geográfica de estudo, não sendo contabilizados eventuais diferenças de estocagem entre o primeiro e o último dia do ano. No caso do diesel, seu consumo real observado comercializado no Estado pode não corresponder exatamente ao diesel consumido na região geográfica de estudo, visto que o Estado do Espírito Santo se caracteriza como um polo logístico estratégico na região Sudeste do País. O Estado possui portos marítimos que servem como ponto de conexão entre o transporte marítimo e terrestre, além de ser cortado por rodovias federais importantes, como BRs 101 e 262, que funcionam como veias estruturais para a logística e economia, tanto para o Estado quanto para o País. Adicionalmente,

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.

O Gráfico 1 apresenta o volume de combustível real comercializado (m^3) no Estado do Espírito Santo, denominado Consumo Real Observado. Para a gasolina C, etanol hidratado e diesel (consumo observado referente ao ano base 2024) os dados foram disponibilizados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Por sua vez, o volume real observado comercializado de gás natural veicular (GNV) foi disponibilizado pela Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo – ARSP, totalizando 19.763.724 metros cúbicos.

Embora todos os combustíveis apresentem seus volumes em metros cúbicos (m^3), 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, de modo a evitar distorções na representação visual e garantir a coerência da análise.

Gráfico 1: Consumo Real Observado Comercializado de Combustível no Espírito Santo.



Dada a predominância da tecnologia *flex fuel* nas categorias de automóveis, comerciais leves e motocicletas, a quantificação das emissões requer a determinação da proporção de uso entre Gasolina C e Etanol Hidratado. Essa escolha realizada pelo condutor é influenciada por fatores econômicos, sendo o abastecimento com Etanol Hidratado considerado financeiramente mais vantajoso quando seu preço de revenda é inferior a 70% do preço da Gasolina C. Contudo, a variabilidade diária dos preços e a extensão geográfica do estudo impossibilita a coleta de dados contínuos. Desta forma, diante da impossibilidade de realizar um levantamento preciso, no presente inventário, a proporção de escolha entre os combustíveis para a frota *flex* foi estimada através da normalização do consumo, dividindo-se o volume total comercializado de cada combustível pela somatória do consumo total (Gasolina C + Etanol Hidratado).

Embora o Gráfico 1 apresente o consumo real agregado para cada tipo de combustível, incorporando todas as regiões descritas no Estado, o presente inventário optou por estimar a fração de consumo de gasolina C, etanol hidratado e diesel individualmente para cada região do Estado Inventariada. Essa estimativa baseia-se no consumo real observado por município, respeitando as especificidades das respectivas regiões geográficas definidos no

presente estudo. Tal abordagem foi adotada para assegurar a fidedignidade dos dados, proporcionando uma base sólida e precisa para os resultados apresentados

3. METODOLOGIA

A gestão da qualidade do ar é um dos pilares fundamentais das políticas de sustentabilidade urbana e saúde pública. No estado do Espírito Santo, o controle das emissões atmosféricas é uma prioridade estratégica, dado o adensamento populacional e a complexidade das atividades industriais e logísticas, especialmente, na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV). Entre as diversas fontes de poluição, o setor rodoviário destaca-se como um dos principais contribuintes para a concentração de poluentes atmosféricos. A compreensão precisa do perfil de emissões provenientes de veículos automotores é o primeiro passo para a formulação de estratégias de mitigação eficazes.

Nesse contexto, este documento detalha um diagnóstico de poluentes atmosféricos provenientes de fontes móveis. Para garantir a precisão dos resultados, a fundamentação técnica segue diretrizes rigorosas de órgãos de referência nacional, como metodologias já consolidadas e amplamente utilizadas no Brasil, como as usadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) e 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 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, bem como das informações de comércio e consumo dos combustíveis no ano de 2024, disponibilizado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP) e da Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo (ASRP).

A estimativa realizada considerou variáveis importantes, como frota registrada, intensidade de uso de referência ou distancia anual percorrida, além de frotas circulante e fatores de emissão, necessários para quantificar as emissões de poluentes atmosféricos provenientes de fontes móveis. Desta forma, antes de adentrar na metodologia empregada serão apresentados e conceituados alguns termos específicos, conforme a Tabela 3, que segue, de modo a permitir e facilitar um melhor entendimento da metodologia adotada e, consequentemente, obter uma melhor qualidade e avaliação dos resultados obtidos.

Tabela 3: 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 Bicombustíveis (ANP) e pela Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo – ARSP.
Veículos *Flex Fuel* ou *Flex*	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 comercias leves que utilizam a gasolina C e etanol e nos veículos que apresentam tecnologia *flex fuel*.
Motor do Ciclo Diesel	Motor de combustão interna cuja queima do combustível ocorre devido ao aumento da temperatura provocada pela compreensão do ar. Utiliza o combustível diesel, sendo que no Brasil normalmente é utilizado em caminhões, ônibus, micro-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 efeito deste inventário, foram utilizados os veículos automotores fabricados no período de janeiro de 1984 a dezembro de 2024, registrados no Órgão de Trânsito Estadual – Detran | ES. Posteriormente, os veículos disponibilizados pelo Detran | ES foram agrupados em categorias, demandando uma sistematização fundamentada nas características técnicas especificas de cada grupo, conforme metodologia consolidada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb). Essa categorização possibilita associar o consumo de energia aos respectivos fatores de emissão de cada categoria de veículo, proporcionando maior precisão na estimativa dos resultados. A categorização dos veículos segue abaixo na Tabela 4.

Tabela 4: Definição das categorias de veículos aplicadas no Inventário.

Categorias	Motor/Combustível		Definição
Automóveis	Otto	Gasolina	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, inclusive condutor.
		Etanol	
		Flex Fuel	
		GNV	
Veículos Comerciais Leves	Otto	Gasolina	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou carga, com PBT até 3856 Kg (1).
		Etanol	
		Flex Fuel	
	Diesel		
Motocicletas	Otto	Gasolina	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car, dirigido em posição montada.
		Flex Fuel	
Caminhões Semileves (3,8t<=PBT<6t	Diesel		Veículo automotor destinado ao transporte de cargas, com carroceria, e PBT superior a 3856 Kg.
Caminhões Leves (6t<=PBT<10t)			
Caminhões Médios (10T<=PBT15t)			
Caminhões semipesados (15t>PBT e PBTC<40t)			
Caminhões Pesados (15t>PBT e PBTC>=40t)			
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 nº 15/1995.

Ressalta-se, porém, conforme análise da Tabela 4, que a categoria de caminhões é subdivida pelo peso bruto total (PTB), comtemplando as classes de caminhões semileves, leves, médios, semipesados e pesados, em conformidade com a metodologia adotada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb). No entanto, os dados da frota registrada de caminhões disponibilizado pelo Detran | ES não apresentam essa estratificação por faixa de Peso Bruto Total (PTB). Dessa forma, para estimar a frota registrada 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 2024, e aplicou-se o percentual obtido de cada categoria de caminhão inventariada junto ao Inventário Nacional de Emissões Veiculares (Inev) referente ao ano base 2024, haja vista o mesmo trazer o quantitativo total da frota de veículos pesados. Com esse procedimento, foi possível estimar a frota registrada nas categorias de caminhões semileves, leves, médios, semipesados e pesados no respectivo ano de fabricação.

De maneira análoga à categoria de caminhões, os dados disponibilizados pelo Detran | ES também não trazem a estratificação em ônibus urbanos e rodoviários para a categoria de ônibus. Para estimar a quantidade de cada categoria de ônibus inventariada por ano de fabricação, realizou-se o somatório da frota total de ônibus por ano de fabricação, e aplicou-se o percentual obtido junto ao Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2024, obtendo assim, a frota registrada da categoria de ônibus urbanos e rodoviários.

Segundo dados disponibilizados pelo Inventário Nacional de Emissões Veiculares (Inev) referente ao ano base de 2024, a frota total de veículos pesados corresponde a pouco mais de 2.500.000 de veículos, sendo representada pela categoria de caminhões semileves, leves, médios, semipesados e pesados, micro-ônibus e ônibus urbanos e rodoviários. A Tabela 5 e a Tabela 6 mostram os percentuais calculados para a frota de caminhões (semileves, leves, médios, semipesados e pesados) e ônibus (urbanos e rodoviários), respectivamente, a partir do Inev referente ao ano base de 2024.

Tabela 5: Percentual da categoria de caminhões conforme INEV 2024.

Categoria	Veículos	Percentual (%)
Caminhões S Leves	100.000	4,8
Caminhões Leves	425.000	20,2
Caminhões Medios	250.000	11,9
Caminhões S Pesados	600.000	28,6
Caminhões Pesados	725.000	34,5
Total	2.100.000	100,0

Tabela 6: Percentual da categoria de ônibus conforme INEV 2024.

Categoria	Veículos	Percentual(%)
Ônibus Urbanos	250.000	83,3
Ônibus Rodoviários	50.000	16,7
Total	300.000	100,0

3.2. Estimativa da Frota Circulante

A frota circulante constitui um dos parâmetros mais importantes para a precisão das estimativas 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 – Detran|ES. Todavia, esses órgãos, de maneira geral, fornecem informações sobre a frota veicular registrada, mas para Inventários de Emissões Veiculares (IEV), é necessário o conhecimento da frota circulante, ou seja, aqueles veículos que realmente estão ativos e em operação para um dado ano base. Desta forma, o presente relatório estima a frota circulante como o conjunto de veículos em circulação real, independente do status burocrático nos registros oficiais.

A partir dos dados da frota registrada disponibilizados pelo Detran|ES para o Estado do Espírito Santo, foi possível obter a frota circulante por cada categoria de veículo inventariada, segmentada conforme o combustível empregado. 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 essas, 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.

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:

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

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.

$$S(t) = \frac{1}{(1+\exp(a(t-t_0)))} + \frac{1}{(1+\exp(a(t+t_0)))} \qquad \text{equação 2}$$

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 7.

Tabela 7: 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) é possível estimar a frota circulante para cada categoria e por ano de fabricação. Logo, a frota circulante pode ser estimada de acordo com a equação 3, que segue abaixo.

$$F_C = F_R * S(t) \qquad \text{equação 3}$$

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

Uma vez definida a composição da frota circulante, o próximo passo para o cálculo das emissões é a determinação da distância percorrida para os veículos para cada ano de fabricação. Para isso, é aplicado o conceito de curvas de intensidade de uso para cada categoria inventariada, o qual refere-se a modelos que representam a variação da quilometragem percorrida ao longo do tempo. Essas curvas são usadas para entender como a frota de veículos se movimenta em uma área geográfica especifica e podem ser aplicadas no cálculo de Inventário de Emissões Veiculares.

No presente inventário, a determinação da intensidade de uso seguiu critérios de similaridade operacional e tecnológica entre as categorias, otimizando a consistência estatística do modelo. Dessa forma, aplicou-se a mesma curva de

intensidade de referência para automóveis e veículos comerciais leves do ciclo Otto, abrangendo gasolina C, etanol hidratado e *flex fuel*. No segmento de carga, adotou-se uma curva única característica para caminhões semileves e leves e, de forma análoga, unificaram-se os parâmetros para caminhões semipesados e pesados. Portanto, a partir dos modelos das curvas de intensidade de referência para cada categoria inventariada, foi possível obter os valores da intensidade de referência para a categoria de automóveis, veículos comerciais leves, micro-ônibus, ônibus urbanos, micro-ônibus, ônibus rodoviários, caminhões semileves, leves, médios, semipesados e pesados. Os dados dos valores de intensidade de uso de referência foram extraídos do Inventario Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2024

É importante ressaltar que os valores de intensidade de uso de referência derivados dos modelos de curvas para cada categoria podem apresentar incertezas significativas ao modelo. Para mitigar essas flutuações e alinhar os dados a região geográfica de estudo, o valor da intensidade de uso de referência passa por um processo de ajuste. Tal ajuste é realizado a partir da razão entre o consumo rela observado comercializado e o consumo estimado para cada tipo de combustível na região em estudo. O resultado desse procedimento é a intensidade de uso ajustada, que reflete com maior fidelidade o perfil de rodagem real da frota local e serve como dado de entrega na equação geral de emissões veiculares. Para o cálculo do consumo estimado por tipo de combustível, aplica-se a equação 4, apresentada a seguir.

$$C_{estim} = \frac{(F_C * I_r)}{Q} \qquad \text{equação 4}$$

Onde,

C_{estim}: consumo de combustível de cada veículo por ano de fabricação;
F_r: frota circulante por ano 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 a consolidação do consumo total de gasolina C, etanol hidratado e diesel para todas as categorias inventariadas, a intensidade de uso de referência é calibrada/ajustada por meio de um fator de correção, definido pela razão do consumo real observado comercializado, disponibilizado pela ANP, pelo consumo estimado para cada combustível, conforme estabelecido pela equação 5. A aplicação desse ajuste resulta na intensidade de uso ajustada, parâmetro que reflete a distância real percorrida pelo veículos e que será utilizada para estimar as emissões de escamento.

$$I_{ajus} = I_{ref} * (\frac{C_{Obser}}{C_E}) \qquad \text{equação 5}$$

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 comercializado para cada tipo combustível do ano de 2024 disponibilizado pela ANP (L/ano);

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

3.4. Fatores de Emissão

Concluída a determinação da distância real percorrida, o próximo passo para a cálculo da carga poluidora é a aplicação dos coeficientes de impacto ambiental específicos para cada categoria. Esses índices são fundamentais para traduzir a atividade da frota em dados de massa de poluentes e são denominados de fatores de emissão. O fator de emissão representa a massa de poluente emitida pelos veículos a circular por uma determinada distância percorrida. Representam 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. Para os 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.

Dada a diversidade tecnológica da frota circulante, os fatores de emissão não são aplicados de forma genérica para todas as categorias. Seguem uma desagregação que respeita as particularidades de cada categoria e sua respectiva cilindrada. Essa distinção é fundamental para capturar as variações de desempenho ambiental entre veículos leves e motocicletas. Desta forma, no presente inventário veicular, para a categoria de automóveis e veículos comerciais leves do Ciclo Otto, os fatores de emissão são segmentados por categoria de veículo e por tipo de combustível utilizado (gasolina, etanol hidratado e os que apresentam tecnologia *flex fuel*), além dos fatores de emissão específicos para a categoria de 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 tecnologia *flex fuel*). Neste inventário, os fatores de emissão para motocicletas

correspondem à faixa de cilindradas compreendida entre 150<=CC<=500. No que tange as categorias de veículos pesados que utilizam o diesel como combustível, são disponibilizados fatores de emissão em até oito categorias, sendo elas: ônibus urbanos e rodoviários, micro-ônibus, caminhões Semileves, leves, médio, semipesados e pesados.

Ressalta-se que 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 assim, o aumento das emissões de poluentes atmosféricos. Diante disso, em automóveis e veículos comerciais leves movidos à gasolina C, etanol hidratado, bem como os que apresentam tecnologia *flex fuel*, os fatores de emissão para os poluentes CO, NOx e NMHC devem ser incrementados a depender do ano de fabricação e, consequentemente, da quilometragem do veículo. Todavia, para as emissões oriundas do escapamento veicular provenientes dos segmentos de automóveis e comerciais leves do Ciclo Otto, os incrementos não foram calculados, sendo empregados, diretamente fatores de emissão já incrementados, disponibizados no Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo (Cetesb), referente ao ano base 2024. Já para a categoria de motocicletas e veículos do Ciclo Diesel, que inclui veículos comerciais leves à diesel, para o cálculo das emissões de escapamento, não foram empregados fatores deteriorados de emissão para os poluentes citados anteriormente devido à falta de dados ou estudos validados. Portanto, os fatores de emissões empregados para quantificar as emissões veiculares provenientes de escapamento veicular foram extraídos do Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo, referente ao ano base 2024, realizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb).

Em Inventários de Emissões Veiculares, as emissões de Hidrocarbonetos Totais (HCT) normalmente são segregados em: (a) Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) e (b) Metano. Os Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) são o conjunto de hidrocarbonetos não queimados pelo motor, com exceção do metano (CH_4). A estimativa das emissões de Hidrocarbonetos Totais (HCT) pode ser obtido por meio do cálculo direto dos fatores de emissão, ou pelo somatório dos cálculos individuais de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) e de Metano (CH_4). No Inventário de Emissões Veiculares referente ao ano base 2023,

realizado para Região Metropolitana da Grande Vitória, divulgado pelo Iema, foi realizado a estimativa das emissões de HCT pelo uso direto dos fatores de emissão especifico para o poluente para todas as categorias inventariadas. Contudo, as emissões de Hidrocarbonetos Totais (HCT) não coincidiram com a soma das emissões individuais de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) e Metano (CH_4).

Desta forma, no presente Inventario, para o segmento de veículos do ciclo Otto, as emissões de Hidrocarbonetos (HCT) foram estimadas por meio da soma das emissões individuais de NMHC e CH_4, enquanto que para a categoria veículos comerciais leves movidos a diesel, as emissões de Hidrocarbonetos Totais (HCT) foram estimadas diretamente pelos fatores específicos de emissão do segmento. Para veículos pesados do ciclo diesel, que inclui a categoria de caminhões Semileves, leves, médios, semipesados e pesados, categoria de ônibus urbanos e rodoviários, além da categoria de micro-ônibus, as emissões de Hidrocarbonetos Totais (HCT) são constituídas predominantemente de Hidrocarbonetos Não Metano (NMHC). Em razão disso, consideram-se que os fatores de emissão de Hidrocarbonetos Totais (HCT) são equivalentes aos fatores de emissão de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC), conforme disponibilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb). Tal equivalência decorre das características apresentadas pelo combustível diesel e pelo princípio de funcionamento desse tipo de Motor (ciclo diesel ou ciclo de compressão). Portanto, conforme apresentado na Tabela 14, as emissões de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) para as categorias de veículos pesados do ciclo diesel, não foram estimadas individualmente, estando incorporadas às emissões de Hidrocarbonetos Totais (HCT). Por outro lado, as emissões de metano (CH_4) oriundas da categoria de veículos do ciclo Otto, como também para a categoria de veículos comerciais leves do ciclo diesel e veículos pesados do ciclo diesel, foram estimadas empregando fatores de emissão específicos para cada categoria. No caso das emissões de hidrocarbonetos não-metano (NMHC) oriundos de veículos do ciclo Otto, bem como de veículos comerciais leves do ciclo diesel, foram estimadas diretamente por fatores de emissão para cada segmento.

Para as emissões de automóveis convertidos a GNV, foram estimadas considerando fatores de emissões médios, em g/Km, obtidos do Inventário

Nacional de Emissões Veiculares (INEV), referente ao ano base 2024, 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 m^3 igual a 12 Km/m^3. É importante destacar que os fatores de emissão para os poluentes CO, NO_x e NMHC, 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 (CH_4). Os fatores de emissão desses poluentes citados estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8: Fatores de Emissão de CO, NOx, NMHC e CH_4 para veículos movidos a GNV, em g/Km.

CO	NOx	NMHC	CH4
0,56	0,29	0,026	0,22

Fonte: Inventário Nacional de Emissões Veiculares (INEV) (2024).

Para as emissões de dióxido de enxofre (SO_2) por escapamento veicular, o cálculo não foi realizado com base na utilização dos fatores de emissão do poluente, em razão da indisponibilidade de informações e de referências técnicas especificas para esse poluente. Assim, para quantificar as emissões de dióxido de enxofre (SO_2), adotou-se a premissa de todo o teor de enxofre presente no combustível é integralmente convertido em dióxido de enxofre (SO_2) durante o processo de combustão.

Quanto aos fatores de emissão utilizados para a estimativa das emissões evaporativas, foram adotados os mesmos fatores empregados no Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo, referente ao ano base de 2024, disponibilizado pela Cetesb. Como esses fatores são apresentados originalmente em massa por unidade de tampo, foi necessário a conversão para a unidade de massa por distância percorrida. no caso específico dos fatores de emissão das fases *running losses* e *hot soak*, expressos em g/viagem, a conversão para g/Km foi realizada com base na distância média nacional

percorrida por viagem no transporte individual. Para isso, adotou-se o valor de 7,1Km por usuário/viagem, conforme apresentado no Relatório Geral do Sistema de Informações da Mobilidade Urbana (2020), disponibilizado pela Associação nacional de Transportes Públicos (ANTP).

No caso das emissões de material particulado provenientes de desgaste de pneus, freios e pista, foram empregados fatores de emissão para estimar os particulados PTS, $MP_{2,5}$ e MP_{10}. Os fatores de emissão para o PTS, $MP_{2,5}$ e MP_{10} 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 2024, pode ser que tais fatores não reflitam a realidade brasileira, principalmente no que diz respeito a qualidade de pavimentação de vias e a qualidade dos pneus e sistemas de freios.

3.5. Estimativas das Emissões Veiculares

O crescimento da frota automotiva no Espírito Santo, impulsionado pelo desenvolvimento econômico e pela integração logística do estado, exige um acompanhamento rigoroso dos impactos ambientais decorrentes da circulação de veículos. A elaboração de um inventário detalhado é o primeiro passo para o planejamento de estratégias de mitigação e conformidade com os padrões de qualidade do ar. Nesse sentido, este tópico detalha as equações gerais para estimar os diferentes tipos de emissões veiculares do Estado do Espírito Santo. Dentre eles, cabe destacar: emissões provenientes do escapamento veicular (processo de exaustão), emissões oriundas dos processos evaporativos dos combustíveis e, por fim, as emissões dos particulados (PTS, $MP_{2,5}$ e MP_{10}) 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 estimar as emissões veiculares por escapamento para o Estado do Espírito Santo 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 6, que segue abaixo.

$$E = F_e * I_u * F_c \qquad \text{equação 6}$$

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.

Cabe destacar que, embora a equação 6 represente a formulação geral para estimar as emissões de exaustão, ela torna-se inaplicável aos veículos convertidos para o uso do Gás Natural Veicular (GNV). A limitação decorre da escassez de dados detalhados sobre a frota de veículos convertida, especificamente quando se trata da ausência de registros precisos sobre o ano de conversão, ano-modelo dos veículos e sua motorização original. Diante desse cenário, as emissões dessa categoria foram estimadas com base no consumo anual consolidado de gás natural veicular e em fatores médios de emissão, adotando-se uma autonomia especifica padrão de 12/km/m^3. Essa

metodologia simplificada, para estimar as emissões de veículos convertidos a GNV, segue a equação 7, sendo extraída do Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2024.

$$E = 12 * C_{GNV} * F_e \qquad \text{equação 7}$$

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 (m^3/ano).

As emissões veiculares de dióxido de enxofre (SO_2) e material particulado ($MP_{2,5}$) oriundas do processo de exaustão não foram estimadas para automóveis convertidos a GNV. Essa simplificação deve-se as características intrínsecas desse combustível, que possui teores de enxofre praticamente nulos, tornado as emissões de SO_2 desprezíveis. De maneira análoga, as emissões de material particulado fino ($MP_{2,5}$) provenientes da combustão do GNV em automóveis são extremamente reduzidas sendo frequentemente desconsideradas ou tratadas como insignificantes em metodologias nacionais e internacionais, em razão dos baixos fatores de emissão associados a esse combustível. Adicionalmente, a indisponibilidade de fatores de emissão específicos e representativos na literatura nacional para automóveis convertidos a GNV também contribui para adoção dessa simplificação.

Em se tratando do poluente dióxido de enxofre (SO_2), a estimativa de suas emissões empregou-se uma abordagem baseada no balanço de massa do combustível consumido. Diferente de outros poluentes de exaustão, a emissão do poluente depende do teor de enxofre presente no combustível comercializado. O uso da aplicação da equação geral para estimar suas emissões torna-se inviável, decorre da ausência de fatores de emissão específicos e atualizados diante a diversidade da frota circulante existente. Portanto, o cálculo baseou-se no emprego da equação 8, conforme mostrado a seguir.

$$E = \frac{64}{32} * \frac{d}{10^6} * Ir * \frac{F_c}{A} * T_e$$ equação 8

Onde,

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

d: densidade do combustível (g/L);

A: autonomia especifica (km/L);

Ir = representa a intensidade de uso de referência 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.

As emissões veiculares de dióxido de enxofre (SO_2) oriundas de veículos do ciclo Otto movidos à etanol hidratado não foram estimadas, em virtude de o combustível apresentar pequenos trações de enxofre em sua composição química, provenientes de seu processo produtivo, cujos valores regulamentados pela Agencia Nacional de petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) são extremamente baixos. Adicionalmente, há uma indisponibilidade de fatores de emissão específicos na literatura para esse poluente associado ao etanol hidratado. Desta forma, por conta dessa quantidade residual e quase insignificante se comparada ao diesel ou a gasolina C, este Inventario optou por desconsiderar a emissão de SO_2 oriundo do combustível etanol hidratado.

É importante destacar que houve alteração da metodologia para estimar as emissões de dióxido de enxofre (SO_2) provenientes, oriundos do escapamento, em relação ao Inventário de Emissões Veiculares da Região Metropolitana da Grande Vitória ano base 2023, disponibilizado pelo Iema. Conforme observado para este inventario, foi empregado o conceito de Intensidade de Uso de Referência. A alteração na metodologia de cálculo para o referido poluente foi estabelecida visando conferir maior rigor técnico e precisão aos resultados obtidos.

3.5.2. 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 metodologia aplicada para este cálculo foi refinada para considerar as variações de volatilidade desses combustíveis, garantindo maior precisão na quantificação das perdas que ocorrem independentemente da combustão no motor.

A formação das emissões de NMHC por processos evaporativos está relacionada a variações de temperatura ambiente e do sistema de alimentação do veículo. Por esta razão, seus fatores de emissão estão parametrizados em faixas específicas de temperatura (0-15, 10-25 e 20-35°C). Para o Inventário do Estado do Espírito Santo, adotou-se a faixa de temperatura entre 20 -35°C, visto que as médias das temperaturas máximas e mínimas registradas no Estado, ao longo do ano de 2024, mantiveram-se consistentemente dentro desse intervalo. Essa customização metodológica permite que os resultados obtidos reflitam a realidade termodinâmica local, evitando a subestimação ou superestimação das perdas por processos evaporativos dos combustíveis.

A metodologia consolidada considera que as emissões evaporativas nos veículos do ciclo Otto podem ocorrer por meio 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 variação de temperatura ambiente ao longo do dia, afetando o veículo mesmo quando estacionado e com o motor a frio. As emissões da *fase hot soak* referem-se à evaporação de combustível que ocorre imediatamente após o desligamento do motor. Nessa condição, o calor residual do bloco do motor aquece os componentes do sistema de alimentação de combustível, como a linha de combustível e os injetores, promovendo a volatilização do combustível remanescente. O pico das emissões de hidrocarbonetos não metânicos (NMHC) ocorre nessa fase, devido à interrupção da combustão dos vapores de

combustível e ao acúmulo de calor nos componentes do sistema de alimentação, uma vez que deixa de existir o efeito de resfriamento proporcionado pelo funcionamento do motor. Como consequência, as taxas de evaporação do combustível aumentam. Em relação à fase running losses, esta corresponde às perdas evaporativas que ocorrem enquanto o veículo está em operação. Durante essa condição, o fluxo de ar gerado pelo deslocamento do veículo contribui para a dissipação do calor do tanque de combustível e das tubulações, reduzindo a temperatura desses componentes e, consequentemente, mitigando a liberação de vapores de combustível e as emissões de NMHC.

Para estimativa das emissões por processos evaporativos das fases *hot soak* e *running losses*, aplicou-se a equação 10, que segue abaixo. O cálculo integra variáveis de frota circulante, intensidade de uso ajustada e fatores de emissão parametrizados para a faixa de temperatura compreendida entre 20-35°C. Os fatores de emissão empregados na fase *hot soak* e *running losses* foram extraídos do Relatório de Emissores Veiculares do Estado de São Paulo, referente ao ano base 2024, disponibilizado Pela Cetesb. Ressalta-se, no entanto, que esses fatores de emissão, são apresentados em unidade de massa por viagem (g/viagem), sendo necessário convertê-los para unidade de massa por distância percorrida, ou seja, g/km. Para viabilizar essa adequação à realidade do Espirito Santo, utilizou-se a constante 7,1 que representa a distância média percorrida por viagem no transporte individual no Estado, 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).

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

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 11, disponibilizada abaixo. Nela são empregados variáveis como frota circulante e fator de emissão.

$$E = (F_C * e_d) * 365 \qquad \text{equação 11}$$

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.

Embora o setor de transportes seja diverso, a dinâmica das emissões evaporativas é altamente dependente da volatilidade do combustível e da base tecnológica de cada categoria veicular. Por esse motivo, a metodologia adotada foca nos segmentos onde a perda de hidrocarbonetos para a atmosfera é mais significativa e mensurável. Nesse sentido, destaca-se que as emissões evaporativas provenientes de motocicletas não foram estimadas devido à indisponibilidade de fatores de emissão específicos para a categoria. Para a categoria de veículos pesados do ciclo diesel, o que inclui a categoria de caminhões, ônibus e micro-ônibus, além da categoria de comerciais leves movidos a diesel, as emissões por processos evaporativos não foram quantificadas devido ao diesel apresentar hidrocarbonetos mais pesados em sua composição e, consequentemente, sua pressão de vapor ser relativamente baixa quando comparado aos combustíveis gasolina C e Etanol Hidratado, o que dificulta as perdas por processos evaporativos.

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

Além das emissões gasosas provenientes da combustão e da evaporação, um inventário de emissões atmosféricas moderno deve considerar as fontes de natureza mecânica. Essas emissões, classificadas como não-exaustivas, decorrem do atrito físico entre os componentes do veículo e a infraestrutura rodoviária. 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. Nesses pontos a desaceleração acentuada e frequente eleva a temperatura dos componentes, intensificando a abrasão dos revestimentos e a consequente liberação de material particulado fino na atmosfera.

As emissões de Material Particulado provenientes do desgaste de pneus, freios e pista foram estimadas para as partículas PTS, $MP_{2,5}$ e MP_{10}, conforme a metodologia adotada pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMAMC) no Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2024. 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 MP_{10} 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 12. São empregados conceitos relacionados à fatores de emissão, intensidade de uso e frota circulante.

$$E = F_e * I_u * F_C \qquad \text{equação 12}$$

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.

4. RESULTADOS

4.1. Frota Circulante

O monitoramento contínuo da frota circulante é fundamental para a gestão da mobilidade urbana e para a elaboração de Inventários de Emissões Veiculares. A análise da composição da frota circulante quanto ao tipo de veículo e tecnologia de motorização é essencial para o cálculo das emissões. Os dados obtidos da frota circulante total serão apresentados segmentados em categorias, segregados por combustível para o Estado do Espírito Santo. Posteriormente, serão apresentados os quantitativos, em termos percentuais, da frota circulante de cada categoria de acordo com a fonte de energia, bem como a estimativa da frota circulante presente em cada região descrita, além dos percentuais para cada região em relação ao volume total da frota circulante estimada no Espírito Santo. Por fim, será apresentada o volume da frota circulante da Região Metropolitana da Grande Vitória, além da sua evolução em relação ao IEV referente ao ano base 2023, de forma a permitir a comparação da evolução histórica.

Ressalta-se, que o presente IEV contabiliza apenas a frota circulante que apresenta tecnologias de combustão tradicionais, não incluindo nesta edição os veículos elétricos, híbridos e híbridos plug-in que compõem parcela crescente da frota circulante no Estado do Espírito Santo, especialmente, na Região Metropolitana da Grande Vitória.

4.1.1. Espírito Santo

A Tabela 9 detalha a estimativa da frota circulante no Estado do Espírito Santo para o ano-base de 2024. Os dados extraídos dos registros oficiais do Detran | ES, foram submetidos a curvas de sucateamento por categoria e ano de fabricação para refletir com maior precisão a realidade do tráfego estadual.

Apurou-se uma frota circulante de 1.292.694 veículos, abrangendo desde automóveis, motocicletas e até veículos de carga e transporte coletivo. A análise dos dados revela a hegemonia dos automóveis *Flex Fuel*, que compõem 43,7% do montante da frota circulante total presente no Estado, seguidos pela categoria de motocicletas movidas a gasolina C, representando 16,0% do montante total. Em contrapartida, a menor participação registrada refere-se à categoria de veículos comerciais leves movidos exclusivamente à etanol hidratado, representando menos de 0,01% do montante total. Caminhões e ônibus compõem de 2,9% e 0,6% do montante total da frota circulante presente no Estado do Espírito Santo, respectivamente, sendo majoritariamente movidos à diesel, formando a espinha dorsal do escoamento de mercadorias e do transporte de passageiros.

A análise dos dados revela que Estado do Espírito Santo vive uma transformação estrutural em sua frota veicular, marcada pela hegemonia da tecnologia *flex fuel.* Esse cenário abrange automóveis e veículos comerciais leves, no qual os modelos antigos e monocombustíveis dão lugar a veículos que permitem ao condutor a alternativa da escolha entre a Gasolina C e etanol hidratado, conforme as flutuações de preço e disponibilidade regional. Adicionalmente, nesse cenário, destaque para o segmento de motocicletas que apresentam tecnologia *flex fuel*. Mesmo introduzida no mercado em 2009, a tecnologia bicombustível teve um salto recente de expansão no Estado. Essa evolução da frota *flex fuel* vai além do ganho econômico, uma vez que reforça a sustentabilidade ambiental ao utilizar o etanol hidratado, um combustível renovável que apresenta impacto ambiental muito inferior quando comparado aos derivados do petróleo, com a gasolina C.

No que tange à frota circulante capixaba de automóveis convertidos a GNV, cabe destacar que os dados oficiais usados para gerar os números apresentados na Tabela 9 podem divergir da realidade encontrada nas ruas, devido à existência de conversões informais não regularizadas junto ao Órgão de Trânsito, somada a ausência de baixa nos registros de veículos que descontinuam o uso desse combustível, criando uma discrepância entre a frota oficial e a frota circulante real. Para contornar essa defasagem, este estudo

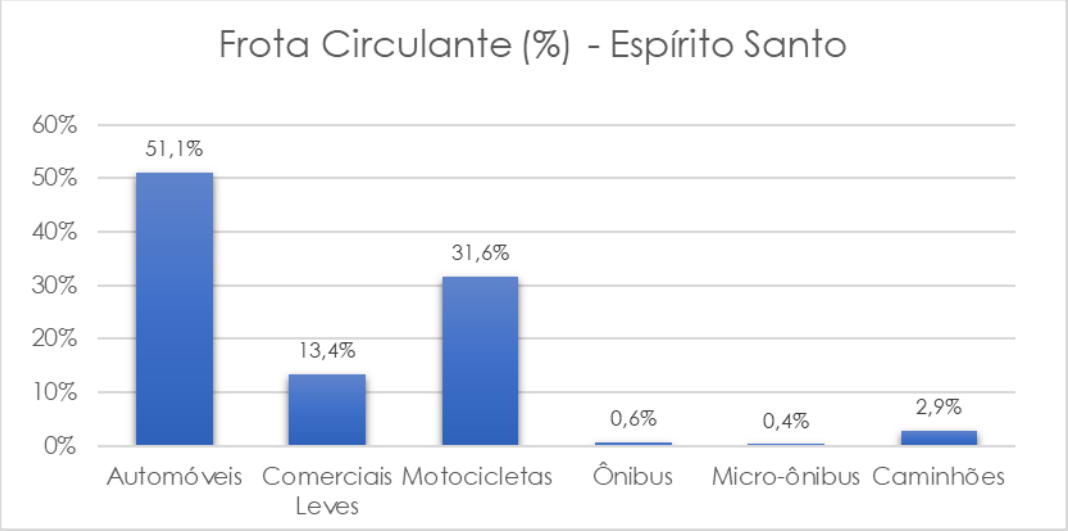
calculou as emissões com base no consumo real de combustível. Adicionalmente, embora a frota tenha sido mapeada com base em todas as regiões descritas no Inventário, a estimativa das emissões oriundos de automóveis convertidos a GNV restringiu-se à Região Metropolitana da Grande Vitória, refletindo o consumo real observado comercializado de GNV apenas nessa localidade.

Tabela 9: Distribuição da Frota Circulante do Estado do Espírito Santo.

Categoria	Combustível	Frota Circulante
Automóveis	Gasolina	80.829
	Etanol Hidratado	2.311
	Flex Fuel	564.641
	GNV	13.071
Comerciais Leves	Gasolina	11.795
	Etanol Hidratado	125
	Flex Fuel	81.149
	Diesel	80.641
Motocicletas	Gasolina	207.783
	Flex Fuel	199.787
Ônibus	Diesel	8.054
Micro-ônibus	Diesel	4.537
Caminhões	Diesel	37.971
Total		1.292.694

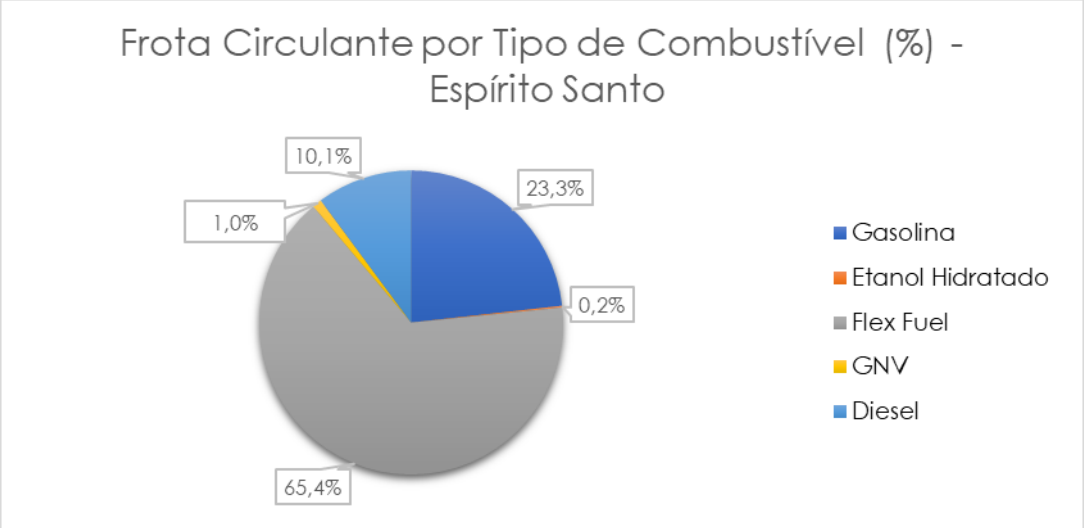
O Gráfico 2 apresenta a distribuição percentual da frota circulante do Espírito Santo por categoria de veículo. Os dados revelam a hegemonia do segmento de automóveis, que lidera com 51,1% do montante total, seguido por motocicletas com 31,6% e veículos comerciais leves com 13,4%. Na outra extremidade, o segmento de micro-ônibus possui a menor representatividade, compondo apenas 0,4% do montante estimado. Já o transporte de carga e coletivo exibe índice mais discretos, no qual o segmento de caminhões responde por 2,9% da frota circulante capixaba, enquanto os ônibus representam 0,6%.

Gráfico 2: Percentual da Frota Circulante no Espírito Santo.



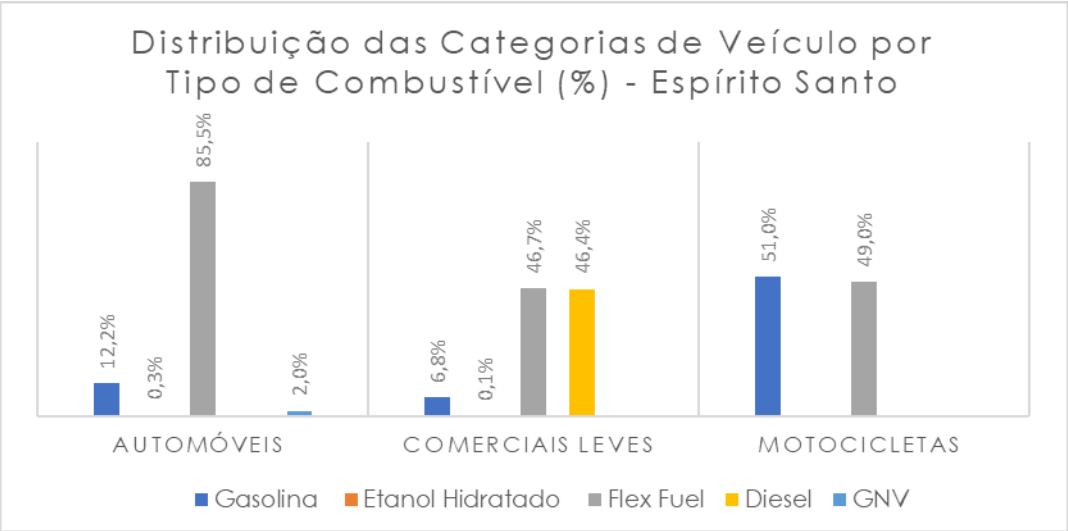
O Gráfico 3 apresenta a distribuição percentual da frota circulante do Estado do Espírito Santo de acordo com a fonte de energia, ou seja, de acordo com tipo de combustível. A análise dos dados aponta que os veículos que apresentam tecnologia *flex fuel* representam 65,4% do montante total da frota circulante presente no Estado, seguida de veículos movidos exclusivamente gasolina C, que somam 23,3%. Em contrapartida, veículos movidos exclusivamente à etanol hidratado representam a menor participação no cenário estadual, correspondendo à 0,2% do montante total estimado.

Gráfico 3: Percentual da Frota Circulante por Tipo de Combustível.



O Gráfico 4 traz a distribuição percentual da frota circulante por combustível para o segmento de automóveis, veículos comerciais leves e motocicletas no Estado do Espírito Santo. A análise dos dados revela que no segmento de automóveis, os veículos que apresentam tecnologia *flex fuel* são amplamente predominantes, abrangendo 85,5% do montante total estimado, seguida de veículos movidos exclusivamente à gasolina C que representam 12,2%. Já no cenário de veículos comerciais leves, observa-se um maior equilíbrio entre os que apresentam tecnologia *flex fuel* e os movidos à diesel. Os modelos *flex fuel* representam 46,7% do total, enquanto as versões à diesel respondem por 46,4% desse total dessa frota. Em análise ao segmento de motocicletas, 51% da frota circulante utiliza exclusivamente a gasolina C, ao passo que 49% apresentam tecnologia *flex fuel*. Vale destacar que o segmento de motocicletas que possui tecnologia *flex fuel* registrou aumento significativo no Espírito Santo em um curto período de tempo desde sua disponibilização no mercado.

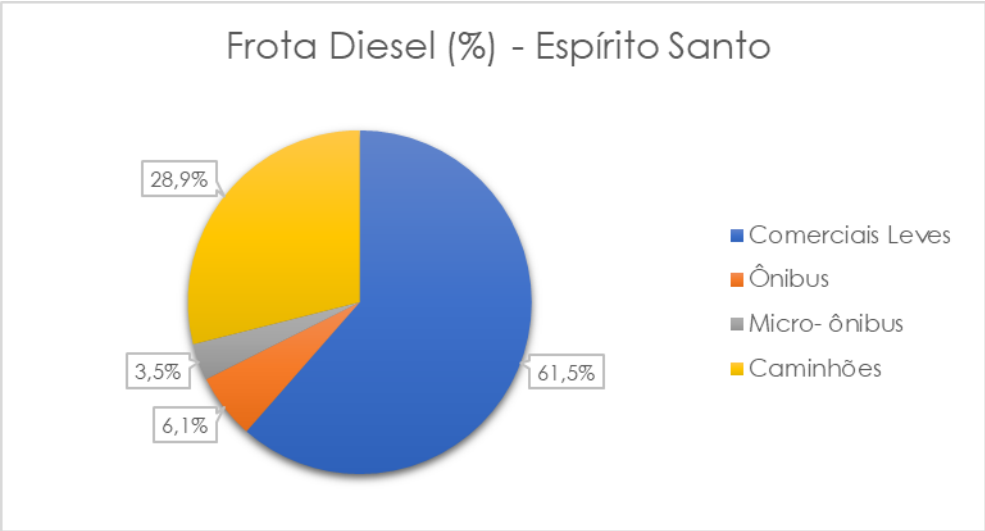
Gráfico 4: Distribuição Percentual da Frota Circulante por Categoria por Combustível.



O Gráfico 5 apresenta distribuição percentual da frota circulante movida à diesel no Espírito Santo. A análise dos dados aponta que a frota à diesel é predominantemente constituída de veículos comerciais leves, correspondendo à 61,5% do montante total. O transporte de carga também possui uma forte relevância, com caminhões totalizando 28,9% do volume. No extremo oposto, o

segmento de micro-ônibus possui o menor percentual de representatividade, registrando apenas 3,5% em relação à frota circulante total movida à diesel no Estado.

Gráfico 5: Percentual da Frota Circulante à Diesel no Espírito Santo.



A dinâmica da frota circulante no Estado do Espírito Santo exige uma análise mais descentralizada, uma vez que a concentração de veículos segue a lógica do desenvolvimento econômico, da densidade populacional e das características geográficas de cada região, como áreas portuárias, polos industriais ou zonas agrícolas. A Tabela 10 apresenta a frota circulante do Estado do Espírito Santo de forma regionalizada, de acordo com as regiões descritas no item 2.1 deste Inventário. A análise dos dados revela que a Região Metropolitana da Grande Vitória lidera amplamente o cenário estadual, concentrando maior contingente da frota, totalizando 577.908 veículos. A Região Sul contabiliza 251.780 veículos automotores. No extremo aposto, influenciada pelo seu perfil de ocupação territorial e características demográficas, a Região Serrana apresenta a menor frota circulante do Estado, contabilizando 103.127 veículos.

A Tabela 11 traz a distribuição percentual da frota circulante de cada categoria e por região. Os maiores percentuais para todos os segmentos inventariados são observados na Região Metropolitana da Grande Vitória, fruto do elevado nível de desenvolvimento socioeconômico da região, que abriga os principais complexos industriais e portuários do Estado. Consequentemente, essa infraestrutura demanda uma intensa circulação de veículos para o escoamento de mercadorias e prestação de serviços. Além disso, a região Metropolitana da Grande Vitória possui maior densidade populacional do Estado, o que potencializa a frota de veículos leves e motocicletas voltada à mobilidade urbana individual.

Tabela 10: Estimativa da Frota circulante por Região do Estado do Espírito Santo.

Categoria	Combustível	Frota Circulante					
		Região Norte	Região Central	RMGV	Região Serrana	Regação Sul	Total
Automóveis	Gasolina C	5.842	10.237	44.630	5.371	14.749	80.829
	Etanol Hidratado	185	277	1.305	154	390	2.311
	Flex Fuel	52.434	83.292	291.344	34.516	103.055	564.641
	GNV	141	527	10.816	141	1.446	13.071
Comerciais Leves	Gasolina C	708	1.423	7.331	630	1.703	11.795
	Etanol Hidratado	11	20	59	9	26	125
	Flex Fuel	10.802	15.982	30.809	8.156	15.400	81.149
	Diesel	8.365	13.708	32.395	7.027	19.146	80.641
Motocicletas	Gasolina C	28.367	39.020	77.975	19.080	43.341	207.783
	Flex Fuel	30.576	44.291	59.698	22.243	42.979	199.787
Ônibus	Diesel	800	1.507	4.101	424	1.222	8.054
Micro-ônibus	Diesel	361	597	2.427	387	765	4.537
Caminhões	Diesel	3.316	7.090	15.018	4.989	7.558	37.971
Total		141.908	217.971	577.908	103.127	251.780	1.292.694

Tabela 11: Percentuais da Frota Circulante por Região no Estado do Espírito Santo.

Categoria	Combustível	Frota Circulante					
		Região Norte (%)	Região Central (%)	RMGV (%)	Região Serrana (%)	Regaão Sul (%)	Total (%)
Automóveis	Gasolina C	7,2	12,7	55,2	6,7	18,2	100,0
	Etanol Hidratado	8,0	12,0	56,4	6,7	16,9	100,0
	Flex Fuel	9,3	14,7	51,6	6,1	18,3	100,0
	GNV	1,1	4,0	82,7	1,1	11,1	100,0
Comerciais leves	Gasolina C	6,0	12,1	62,2	5,3	14,4	100,0
	Etanol Hidratado	8,8	16,0	47,2	7,2	20,8	100,0
	Flex Fuel	13,3	19,7	38,0	10,0	19,0	100,0
	Diesel	10,4	17,0	40,2	8,7	23,7	100,0
Motocicletas	Gasolina C	13,7	18,8	37,5	9,2	20,8	100,0
	Flex Fuel	15,3	22,2	29,9	11,1	21,5	100,0
Ônibus	Diesel	9,9	18,7	50,9	5,3	15,2	100,0
Micro-ônibus	Diesel	8,0	13,2	53,5	8,5	16,8	100,0
Caminhoes	Diesel	8,7	18,7	39,6	13,1	19,9	100,0

4.1.2. Região Metropolitana da Grande Vitória

A Região Metropolitana da Grande Vitória representa o principal centro de adensamento urbano e da atividade econômica do Estado do Espírito Santo, concentrando, consequentemente, a frota de veículos mais expressiva do território capixaba. A importância atribuída à região neste estudo deve-se ao fato de que o comportamento desta frota dita as tendências de consumo de combustível e os índices de emissões de poluente atmosféricos em nível estadual. Além disso, compreender a composição desses veículos é essencial para qualquer planejamento em escala estadual, dada a representatividade da região. Por fim, a apresentação dos dados específicos dessa região permite a comparação com os dados apresentados no Inventário de Emissões Veiculares referente ao ano base 2023 e no Inventário de Fontes de Emissões Atmosféricas referente ao ano base de 2015, os quais abrangeram somente a Região Metropolitana da Grande Vitória.

A Tabela 12 apresenta a estimativa da frota circulante da Região Metropolitana da Grande Vitória por categoria e combustível. A análise dos dados revela que a região possui uma frota circulante constituída de 577.908 veículos automotores. Adicionalmente, automóveis que apresentam tecnologia *flex fuel* dominam o cenário automotivo, representando 50,4% do montante total estimado. Em seguida, desataca-se o segmento de motocicletas movidas exclusivamente à Gasolina C, que compõem 13,5% da frota circulante total para a região. Em contraste com os veículos *flex fuel,* o levantamento aponta que a categoria de veículos comerciais leves movidos exclusivamente à etanol hidratado está no extremo inferior da amostragem, representando menos de 0,1% do montante total da frota circulante na Região Metropolitana da Grande Vitoria.

No que tange aos veículos pesados do ciclo diesel, os caminhões lideram a estimativa da frota circulante na região, representando 2,6% do montante total. Paralelamente, o segmento de ônibus compõe 0,7% do volume total, enquanto que a categoria de micro-ônibus figura como a categoria de menor expressão nesse grupo, registrando uma participação de cerca de 0,4% do montante total estimado. Embora os veículos pesados do ciclo diesel registrem uma quantidade numérica reduzida quando comparados à de automóveis *flex fuel*,

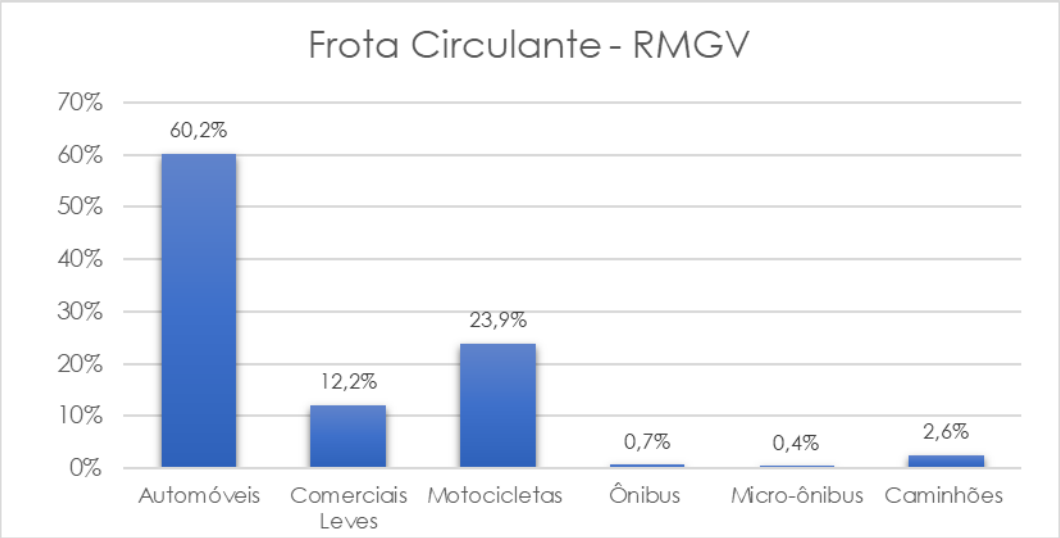
os mesmos exercem um papel desproporcionalmente significativo nas emissões veiculares da região, conforme será mostrado mais a frente, na apresentação dos resultados de emissão por poluente.

Tabela 12: Estimativa da Frota Circulante da Região Metropolitana da Grande Vitória por Categoria de Veículo.

Categoria	Combustível	Frota Circulante
Automóveis	Gasolina C	44.630
	Etanol Hidratado	1.305
	Flex Fuel	291.344
	GNV	10.816
Comerciais Leves	Gasolina C	7.331
	Etanol Hidratado	59
	Flex Fuel	30.809
	Diesel	32.395
Motocicletas	Gasolina C	77.975
	Flex Fuel	59.698
Ônibus	Diesel	4.101
Micro-ônibus	Diesel	2.427
Caminhões	Diesel	15.018
Total		577.908

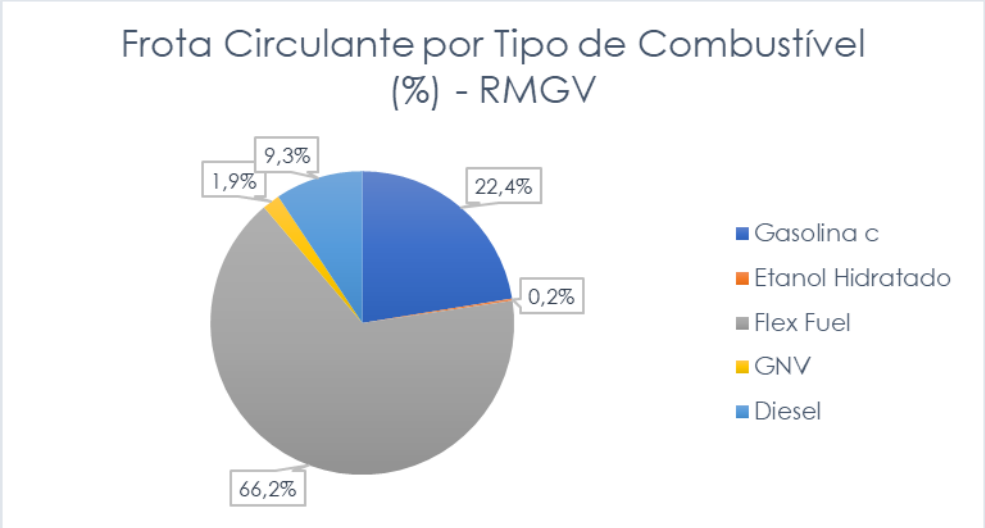
O Gráfico 6 traz a distribuição percentual da frota circulante da Região Metropolitana da Grande Vitória por categoria, independente do combustível. A análise dos dados evidencia que automóveis registra o segmento de maior representatividade, abrangendo 60,2% do volume total da frota circulante. O segmento de motocicletas consolida-se em segundo lugar, representando 23,9% da frota circulante total na Região. Em contrapartida, micro-ônibus registra a menor participação do levantamento, com apenas 0,4% do montante total estimado na Região Metropolitana da Grande Vitória.

Gráfico 6: Frota Circulante por Categoria na Região Metropolitana da Grande Vitória.



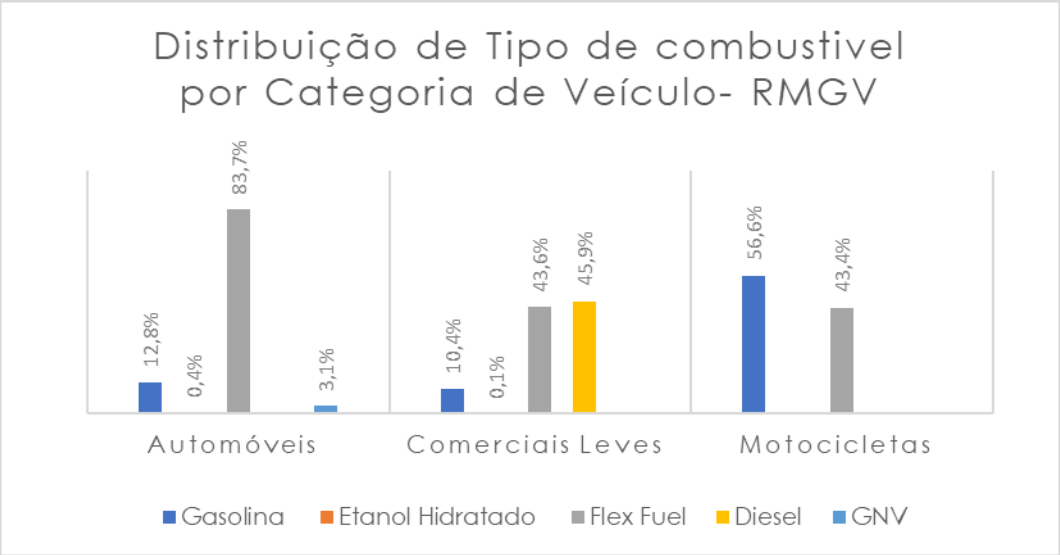
O Gráfico 7 traz a distribuição percentual da frota circulante da Região Metropolitana da Grande Vitória por combustível. A análise da distribuição percentual aponta que a frota circulante de veículos automotores que apresentam tecnologia *flex fuel* lideram amplamente a frota circulante da Região, somando 66,2% do montante total. Os veículos movidos exclusivamente à gasolina C configuram a segunda maior parcela, com 22,4% de representatividade. Já, os veículos de uso exclusivo de etanol hidratado apresentam uma fatia pouco expressiva, correspondendo a 0,2% do total da frota circulante. No caso do combustível diesel, o mesmo compõe 9,3% da frota circulante do montante total estimado para a região.

Gráfico 7: Percentual da Frota Circulante por tipo de Combustível.



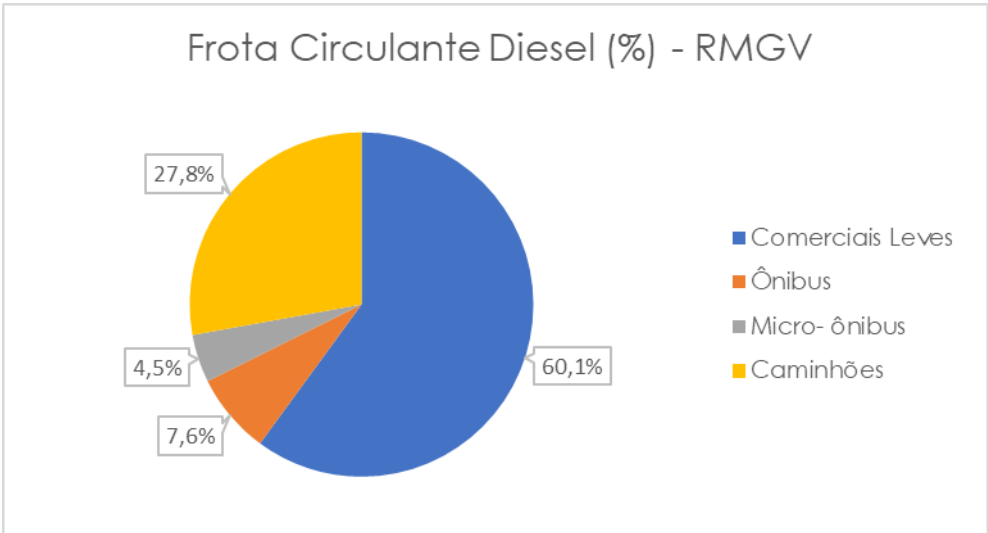
O Gráfico 8 mostra a distribuição percentual da frota circulante por tipo de combustível para os segmentos de automóveis, veículos comerciais leves e motocicletas na Região Metropolitana da Grande Vitória. A análise dos dados ilustra a clara hegemonia da tecnologia *flex fuel* para a categoria de automóveis, representando 83,7% do total desse segmento. Os veículos movidos exclusivamente à gasolina C vem perdendo espaço, somando-se apenas 12,8% do montante total de automóveis na região. Em contraste, os automóveis movidos puramente à GNV e etanol hidratado apresentam índices bem menos expressivos, respondendo por 3,1% e 04% do montante estimado, respectivamente. No que tange ao segmento de veículos comerciais leves, os dados apontam um equilíbrio entre as duas principais matrizes energéticas. Os modelos à diesel lideram com 45,9% de participação, ao passo que aqueles equipados com tecnologia *flex fuel* respondem por 43,6% do montante total estimado da categoria. Por fim, para o segmento de motocicletas, a gasolina C ainda é o combustível predominante para a categoria, respondendo por 56,6% do montante total, enquanto que as que apresentam tecnologia *flex fuel* respondem 43,4% do montante total estimado.

Gráfico 8: Distribuição Percentual da Frota Circulante por Categoria de Veículo.



O Gráfico 9 traz a distribuição percentual da frota circulante movida a diesel na Região Metropolitana da Grande Vitória segmentada por categoria. A frota diesel é liderada pela categoria de veículos comerciais leves, representando 60,1% do montante total, seguida de caminhões, que aparece com 27,8%. O segmento ônibus e micro-ônibus, apresentam percentuais inferiores, representando cerca de 7,6% e 4,5%, respectivamente, do montante total da frota circulante à diesel estimado.

Gráfico 9: Percentual da Frota Circulante à Diesel na Região Metropolitana da Grande Vitória.



4.1.2.1. Evolução da Frota Circulante na Região Metropolitana da Grande Vitória

A gestão da mobilidade urbana e a elaboração de Inventários de Emissões Atmosféricas por fontes móveis dependem do monitoramento contínuo da frota circulante. A análise de sua composição é indispensável para avaliar as transformações nos padrões de consumo energético e os impactos socioambientais do uso de combustíveis. Sob essa ótica, o acompanhamento anual viabiliza a identificação de tendências de atualização tecnológica, orientando a formulação de políticas públicas de transporte e sustentabilidade.

O Gráfico 10 apresenta a evolução da frota circulante para a Região Metropolitana da Grande Vitória – RMGV, segmentada por categoria e combustível, com base nos Inventários de 2015, 2023 e 2024. A análise dos dados aponta que houve uma retração quantitativa da frota total no intervalo entre 2015 e 2023, mas um leve aumento entre 2023 e 2024. A análise dos dados revela, no período entre 2015 e 2024, especificamente, que a frota circulante de automóveis e motocicletas movidos exclusivamente à gasolina C registraram uma redução expressiva de sua frota circulante, em contraste dos veículos que possuem tecnologia *flex fuel*, que registrou expansão, especialmente, o segmento de motocicletas. Enquanto que automóveis e motocicletas movidos exclusivamente à gasolina C registraram uma retração de cerca de 65% e 37,7%, respectivamente, automóveis e motocicletas que apresentam tecnologia *flex fuel* apresentaram crescimento, respectivamente de 13,7% e 147,7%.

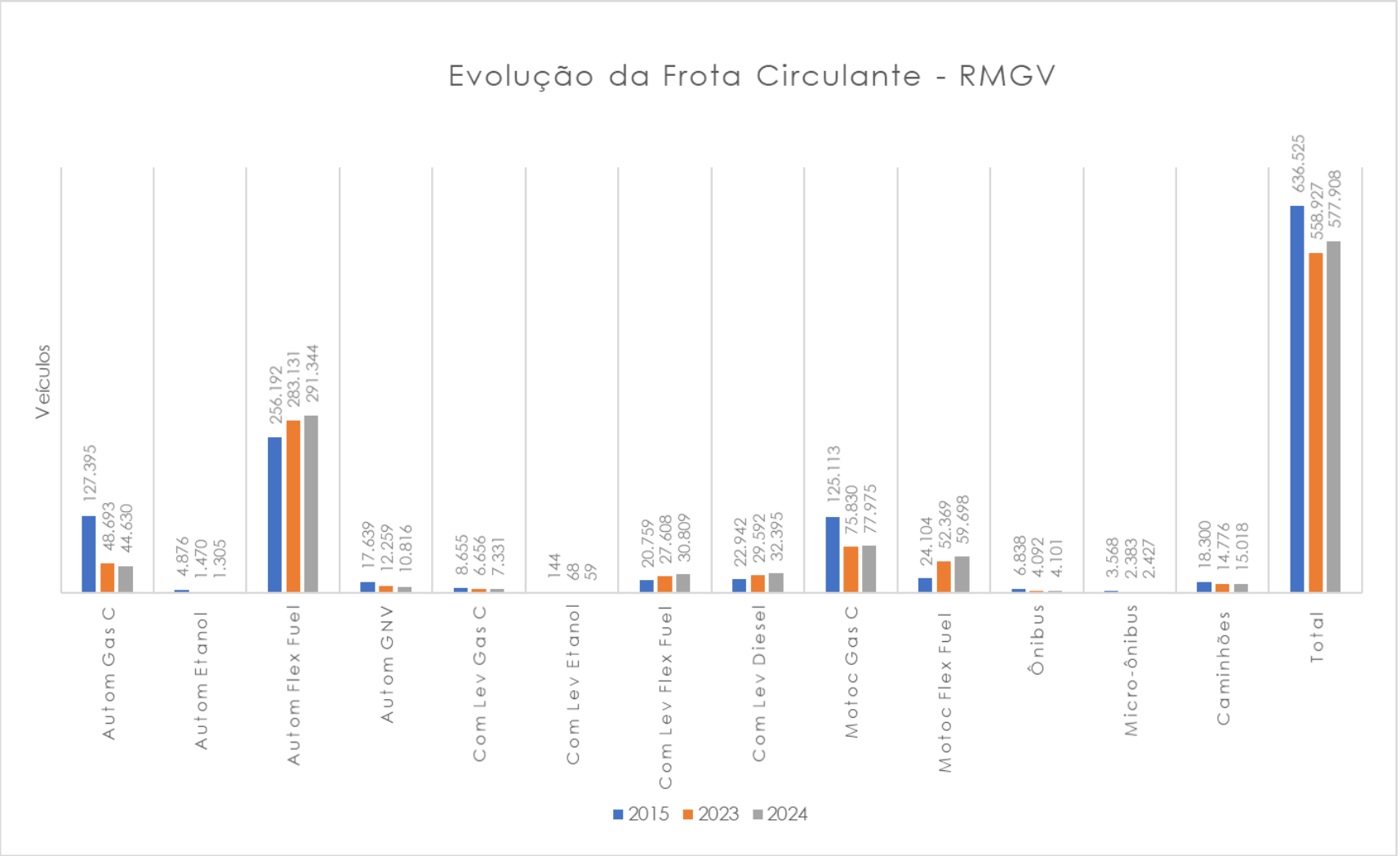
Analisando o segmento de veículos comerciais leves, observa-se uma leve retração da frota circulante movida à gasolina C e à etanol hidratado no acumulado do período analisado, enquanto que os movidos à diesel e os que apresentam tecnologia *flex fuel* registraram uma expansão de, respectivamente, 41,2% e 48,4% na sua frota circulante nesse mesmo tempo.

No que se refere aos veículos pesados do ciclo diesel, a frota circulante registrou retração em todas as categorias avaliadas no período em análise. Os dados apontam, no período analisado, que o segmento de caminhões e ônibus registraram uma redução de sua frota circulante de 17,9% e 40%, respectivamente, enquanto que a categoria de micro-ônibus apresentou uma

queda de cerca de 31,9%. Ressalta-se, porém, que no presente inventário, todos os segmentos de veículos pesados do ciclo diesel, registraram uma leve expansão quando comparado ao Inventário realizado em 2023, o que contrasta com a tendência de retração a longo prazo.

Para os veículos monocombustíveis que utilizam somente etanol hidratado, todas as categorias avaliadas apresentaram queda em sua frota circulante no período analisado. O segmento de automóveis apresentou uma retração de 73,2%, enquanto comerciais leves registrou uma queda de 59%. Cabe destacar, que a fabricação de veículos monocombustíveis que utilizam etanol hidratado foram suspensas em 2008, o que explica a redução gradual de tais veículos em circulação.

Gráfico 10: Evolução da Frota Circulante na Região Metropolitana da Grande Vitória.



4.2. Emissões Veiculares

Antes de adentrar para a apresentação dos resultados, cabe destacar que o Inventário de Emissões Veiculares do Espírito Santo referente ao ano base 2024 passou por revisão e atualização metodológica para alguns poluentes, em relação ao Inventário de ano base 2023, disponibilizado pelo Iema. O refinamento técnico em comparação aos documentos da Grande Vitória referente ao ano 2023, visa conferir maior precisão e confiabilidade dos resultados obtidos. A metodologia empregada no presente é a mesma utilizada nos Inventários anteriores (2015 e 2023). Todavia, o atual Inventario utilizou os mesmos valores de intensidade de uso de referência utilizados no Inventario Nacional de Emissões Veiculares ano base 2024, enquanto que o inventário ano base 2015 e 2023, realizado para a Região Metropolitana da Grande Vitoria, utilizou-se dos valores de intensidade de uso de referência disponibilizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e pelo Inventario Nacional de Emissões Veiculares ano base 2012, respectivamente. Maiores detalhes sobre a metodologia podem ser consultados no item 3 do presente documento.

A partir deste tópico, serão apresentados os resultados dos cálculos realizados para cada poluente considerado, discriminado por região, por categoria de veículo e por tipo de combustível.

4.2.1. Estimativa de Emissão por Escapamento Veicular no Espírito Santo

A Tabela 14 ilustra a estimativa das taxas de emissão de escapamento veicular do Estado do Espírito Santo, em quilograma/ano, para os poluentes monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado ($MP_{2,5}$), dióxido de enxofre (SO_2), metano (CH_4), hidrocarbonetos não-metano (NMHC) e hidrocarbonetos Totais (HCT) para cada categoria inventariada por combustível. Os dados indicam que o CO e NOx constituem os poluentes majoritários, registrando as maiores taxas de emissão. Por outro lado, os demais poluentes demonstraram relevância inferior, destacando-se o SO_2 e $MP_{2,5}$, com taxas de emissão por escapamento mais residuais do perfil amostrado.

Tabela 13: Emissões de Escapamento Veicular no Estado do Espírito Santo.

Categoria	Combustível	Emissões de Escapamento (kg/ano)						
		CO	NOx	MP2,5	SO2	NMHC	HCT	CH4
Automóveis	Gasolina C	1.678.892,2	205.027,5	1.006,7	4.828,1	160.484,9	178.144,0	17.659,1
	Etanol Hidratado	6.885,7	5.345,2	ND	ND	6.320,9	7.299,9	979,0
	Flex Gasolina C	8.774.639,8	897.665,2	12.381,3	38.664,1	786.834,2	842.675,1	55.841,0
	Flex Etanol	840.993,0	59.407,2	428,4	ND	99.659,5	129.299,2	29.639,7
	GNV	132.812,2	68.777,8	ND	ND	6.166,3	58.342,5	52.176,2
Comerciais Leves	Gasolina C	222.326,2	23.242,1	259,2	1.097,7	19.068,0	20.808,9	1.740,9
	Etanol Hidratado	689,9	140,6	ND	ND	100,4	144,6	46,9
	Flex Gasolina C	1.254.908,6	133.419,0	2.345,2	6.526,8	111.410,2	121.655,9	10.245,7
	Flex Etanol	103.208,8	7.716,5	56,5	ND	9.627,2	13.387,8	3.760,5
	Diesel	88.886,6	405.948,0	21.631,8	40.402,8	19.888,8	34.880,3	15.195,8
Caminhões S Leves	Diesel	23.119,1	133.295,3	3.970,1	3.475,1	ND	5.462,1	5.946,3
Caminhões Leves		201.115,8	1.102.286,2	31.739,8	25.435,8	ND	46.578,9	26.691,3
Caminhões Médios		159.972,9	938.100,8	25.507,7	23.174,8	ND	36.529,5	24.695,1
Caminhões S Pesados		708.749,9	4.419.725,1	127.181,5	101.907,1	ND	165.203,3	67.401,9
Caminhões Pesados		854.801,4	5.405.188,8	147.623,8	123.319,7	ND	213.425,3	81.586,0
Ônibus Urbanos	Diesel	326.625,3	1.598.321,2	24.507,2	52.665,8	ND	44.240,5	20.480,0
Ônibus Rodoviários		78.203,7	495.189,6	9.547,3	18.859,6	ND	17.584,6	7.973,5
Micro-ônibus		80.220,5	473.011,1	5.850,5	16.753,7	ND	10.320,6	12.702,3
Motocicletas	Gasolina C	1.863.078,1	142.508,5	6.591,1	3.204,0	285.748,5	341.611,8	55.863,3
	Flex Gasolina C	1.389.067,8	104.404,7	6.843,6	3.014,2	132.125,4	178.820,9	46.524,3
	Flex Etanol	152.113,6	7.936,5	753,1	ND	19.709,5	26.556,5	6.776,5
Total		18.941.311,4	16.626.656,9	428.224,9	463.329,5	1.657.144,0	2.492.972,1	543.925,2

ND: Não Disponível

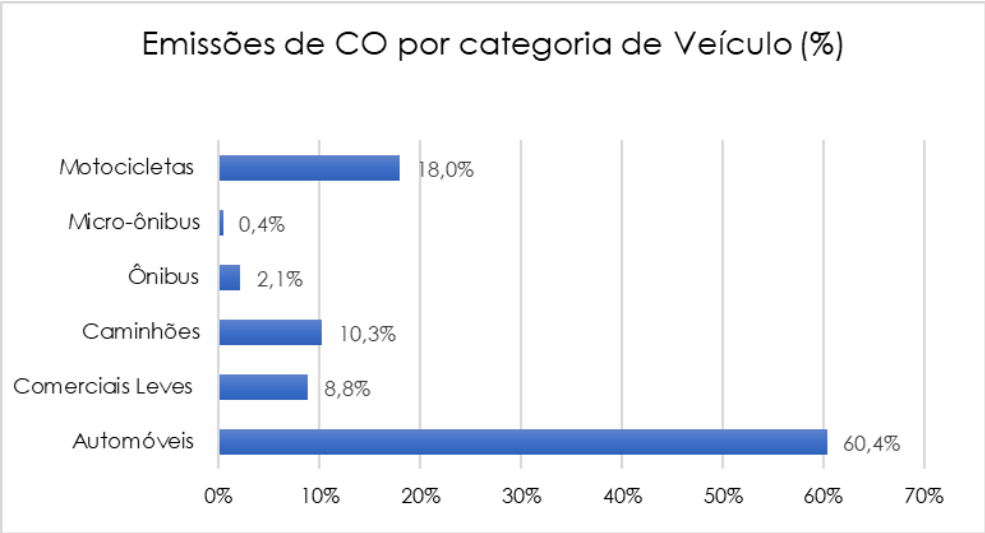
Com o intuito de facilitar a análise e a interpretação dos dados, as categorias foram organizadas de acordo com sua aplicação funcional e perfil tecnológico. Esta abordagem consolida os resultados independentemente da matriz energética, privilegiando uma visão gerencial sobre o impacto real de cada setor na qualidade do ar. A estrutura de agrupamento adotada é detalhada a seguir:

- **Automóveis:** Agrupa a subcategoria de automóveis movidos à Gasolina C, Etanol Hidratado, GNV e *Flex Fuel* (segregados entre as frações Flex Gasolina e Flex Etanol).
- **Comerciais Leves:** Inclui a subcategoria de veículos comerciais leves movidos à Diesel, Gasolina C, Etanol Hidratado e *Flex Fuel* (segregados por fração de combustível).
- **Caminhões:** Consolida as subcategorias semileves, leves, médios, semipesados e pesados (ciclo Diesel).
- **Ônibus:** Agrupa as categorias urbana e rodoviária (ciclo Diesel).
- **Motocicletas:** Reúne a categoria de motocicletas à Gasolina C e *Flex Fuel* (segregados entre as frações Flex Gasolina e Flex Etanol).
- **Micro-ônibus:** Utilizam o diesel como combustível.

O Gráfico 11 apresenta o percentual das emissões de monóxido de carbono (CO) por categoria em relação ao volume total estimado do poluente no Espírito Santo. Os dados indicam que as maiores contribuições provêm das categorias de automóveis e motocicletas, respondendo por 60,4% e 18,0% do montante global, respectivamente. As elevadas taxas de CO observadas para automóveis e motocicletas estão associadas às características intrínsecas da motorização do ciclo Otto, na qual ocorrem episódios de combustão incompleta, bem como das propriedades da gasolina C, combustível que favorece a formação e liberação do gás na atmosfera. No extremo oposto, o menor impacto no inventário de CO cabe à categoria de micro-ônibus, que registra somente 0,4% do volume total estimado. Em contrapartida, as frotas de caminhões e comerciais leves registram índices de emissão um pouco mais

expressivos do poluente, respondendo por 10,3% e 8,8% das emissões veiculares totais de CO no Espírito santo.

Gráfico 11: Percentual das Emissões de Monóxido de Carbono (CO) por Categoria no Espírito Santo.

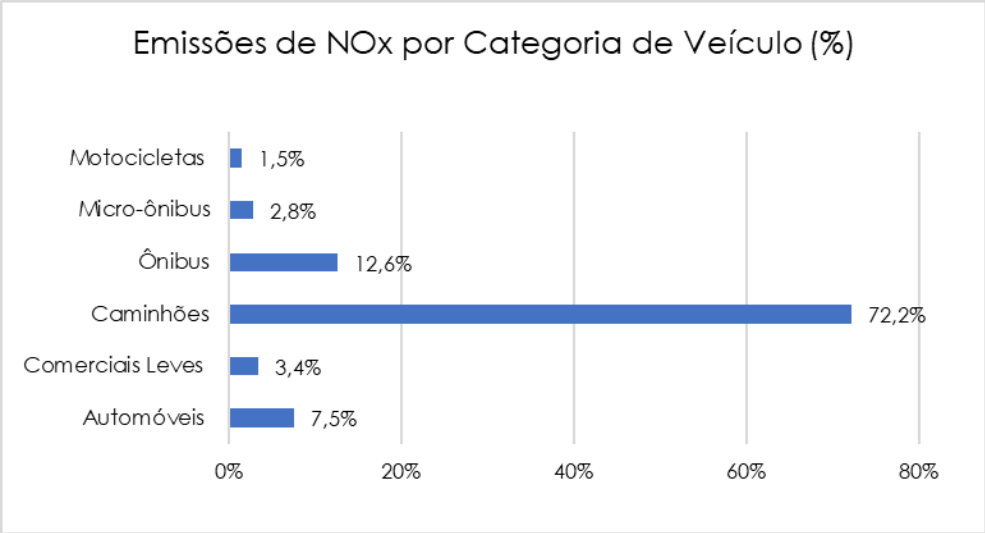


O Gráfico 12 ilustra a distribuição percentual das emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) por categoria em relação ao volume total estimado do poluente no Estado por fontes móveis. Os dados revelam que o transporte pesado e coletivo lidera amplamente as emissões desse poluente, sendo o segmento de caminhões e ônibus responsável por 72,2% e 12,6% do montante total estimado, respectivamente. As emissões mais expressivas do poluente provém de veículos pesados do ciclo diesel, haja vista o princípio de funcionamento desses motores, nos quais o processo de combustão ocorre sob elevadas pressões e temperaturas, operando com o excesso de oxigênio, além da própria natureza do diesel, composto de hidrocarbonetos de maior cadeia carbônica (mais pesado), o que favorece a formação do poluente.

Os automóveis e veículos comerciais leves respondem por 7,5% e 3,4% do volume total estimado do poluente por origem de escapamento. Cabe destacar que as emissões oriundas de veículos comerciais leves movidos à diesel foram computadas de forma agregada aos resultados dos veículos comerciais leves do ciclo Otto, contribuindo para elevar o índice de emissão desse

segmento, haja vista que os movidos à diesel emitem taxas mais elevadas de NOx.

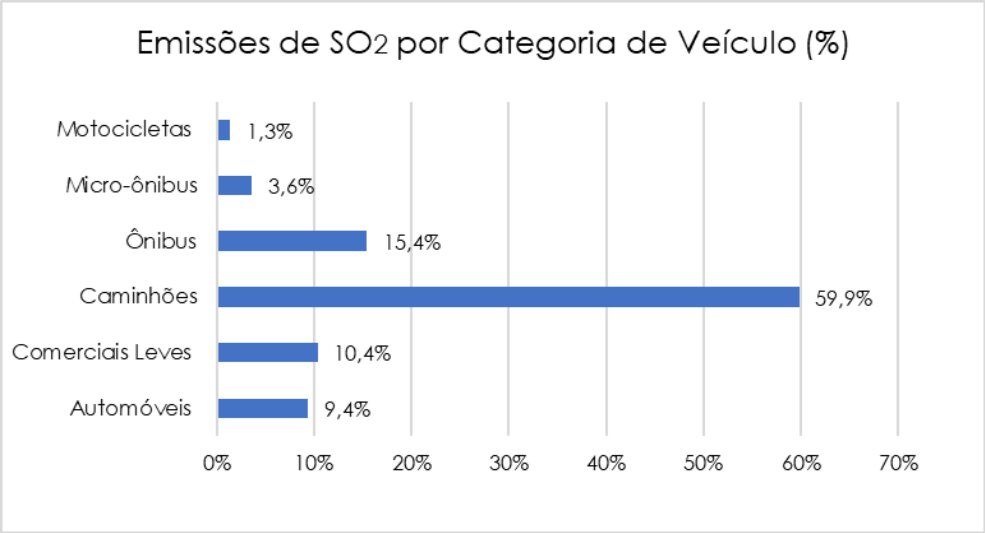
Gráfico 12: Percentual das Emissões de Óxidos de Nitrogênio (NOx) por Categoria no Espírito Santo.



O Gráfico 13 detalha a distribuição percentual das emissões de dióxido de enxofre (SO_2) por categoria em relação ao volume total estimado do poluente no Espírito Santo. Evidencia-se que as maiores taxas provêm de veículos pesados do ciclo diesel, que inclui caminhões e ônibus, respondendo, respectivamente, por 59,9% e 15,4% do montante total inventariado do poluente. Em contrapartida, as menores contribuições de SO_2 foram registradas para o segmento de motocicletas e micro-ônibus, sendo responsável, respectivamente, por 1,3% e 3,6% do montante total. As altas de SO_2 oriundas de veículos pesados do ciclo diesel deve-se ao elevado teor de enxofre presente no óleo diesel.

Cabe destacar, todavia, que o índice de emissão de SO_2 para o segmento de veículos comerciais leves é superior ao de automóveis, apesar deste possuir maior volume de frota circulante. Essa discrepância decorre do incremento das emissões oriundas de veículos comerciais leves movidos à diesel, o qual contribuiu para elevar o índice de emissão da categoria de veículos comerciais leves frente à de automóveis.

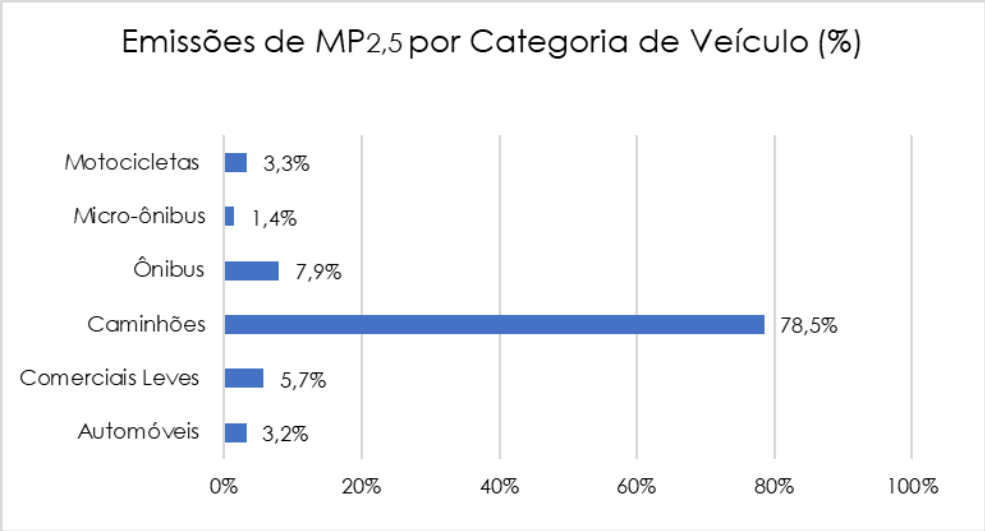
Gráfico 13: Percentual das Emissões de Dióxido de Enxofre (SO_2) por Categoria no Espírito Santo.



O Gráfico 14 apresenta a distribuição percentual das emissões de material particulado ($MP_{2,5}$) por categoria em relação ao montante total estimado do poluente por fontes veiculares no Espírito Santo. Os dados confirmam o amplo predomínio da frota de caminhões nas emissões desse poluente, sendo responsáveis por 78,5% do volume total inventariado. Em seguida, tem-se a categoria de ônibus, a qual é responsável por 7,9% do montante total inventariado. Em contraste, automóveis e micro-ônibus apresentam as menores taxas de emissão, correspondendo a 3,2% e 1,4% do volume total estimado, respectivamente.

Já os veículos comerciais leves contribuem com 5,7% do volume total estimado do poluente no Estado. De maneira análoga ao poluente SO_2, o índice registrado de emissão de $MP_{2,5}$ oriundos de veículos comerciais leves foi superior ao de automóveis, embora este possui maior valor numérico de frota circulante. Isso justifica-se pelo incremento das emissões de veículo comerciais leves movidos à diesel, que contribui para elevar o índice de emissão desse segmento frente à categoria de automóveis.

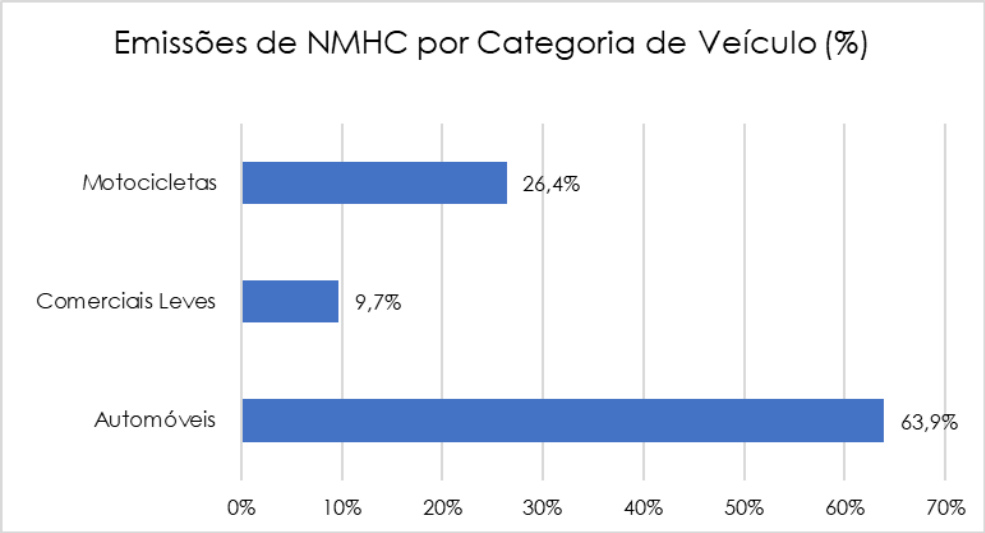
Gráfico 14: Percentual das Emissões de Material Particulado ($MP_{2,5}$) de Escapamento por Categoria no Espírito Santo.



O Gráfico 15 ilustra a distribuição percentual das emissões de hidrocarbonetos não-metano (NMHC) em relação ao montante total inventariado no Espírito Santo. Os dados evidenciam que 63,9% são provenientes da categoria de automóveis, ao passo que 26,4% são provenientes da categoria de motocicletas. As taxas de emissão provenientes da categoria de veículos comerciais leves são mais discretas, respondendo por 9,7% das emissões globais desse poluente.

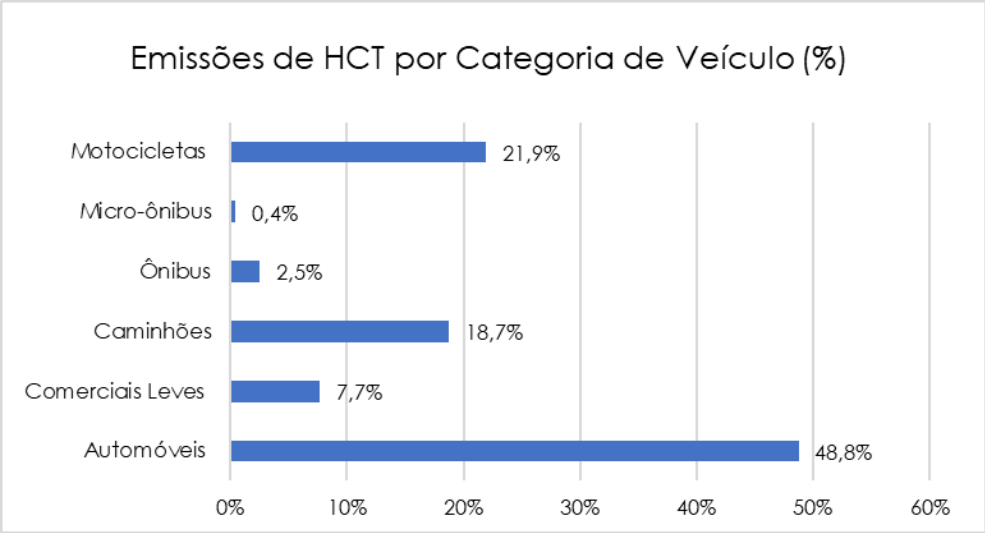
Os índices de emissão de NMHC apresentados no Gráfico 15 contemplam apenas os automóveis, motocicletas e veículos comerciais leves do ciclo Otto e do Ciclo diesel. Conforme discutido em tópico metodológico, as emissões de NMHC oriundas de veículos pesados do ciclo diesel não foram estimadas individualmente, estando incorporadas às emissões de HCT. De acordo com a Cetesb, os fatores de emissão de NMHC são considerados equivalentes aos de HCT para tais categorias, uma vez que este é constituído majoritariamente de NMHC.

Gráfico 15: Percentual das Emissões de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) por Categoria no Espírito Santo.



O Gráfico 16 mostra os percentuais de emissão de Hidrocarbonetos Totais (HCT) para cada categoria em relação ao volume total estimado do poluente no Estado por veículos automotores no Espírito Santo. Verifica-se que os automóveis e as motocicletas lideram as emissões do poluente HCT no Espírito Santo, respondendo por 48,8% e 21,9% do montante total inventariado de HCT, respectivamente. Por outro lado, micro-ônibus e ônibus, registram as menores taxas de emissão do poluente, sendo responsáveis por 0,4% e 2,5% do volume total inventariado, respectivamente.

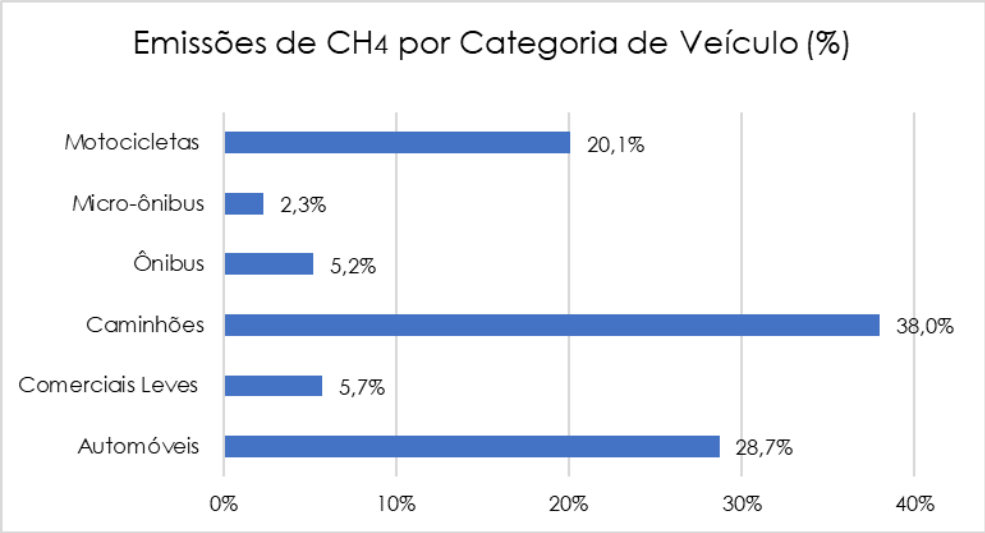
Gráfico 16: percentual das Emissões de Hidrocarbonetos Totais por Categoria no Espírito Santo.



O Gráfico 17 traz os percentuais de emissão do poluente Metano (CH_4) para cada categoria em relação ao montante total inventariado por fontes móveis no Estado do Espírito Santo. A análise dos dados revela que o segmento de caminhões lidera as emissões de CH_4 por fontes móveis no Espírito Santo, respondendo por 38,0% do montante total inventariado. Esse resultado contrapõe a perspectiva histórica da literatura, que tende a classificar as emissões de CH_4 em motores do ciclo diesel como insignificantes devido à elevada eficiência de oxidação desses sistemas. Essa divergência pode ser atribuída aos fatores de emissão adotados, que podem ser oriundos de bases de dados distintas ou ensaios laboratoriais realizados sob diferentes ciclos de condução e tecnologias. Essa diversidade metodológica introduz incertezas que afetam a precisão dos resultados obtidos.

O segmento de automóveis também configura como uma fonte relevante de degradação ambiental, respondendo por uma parcela significativa de 28,7% das emissões veiculares de CH_4 no Estado. Motocicletas aparecem logo em seguida, respondendo por 20,1% do montante total inventariado. Em contrapartida, a categoria de micro-ônibus apresenta menor impacto entre todos os segmentos inventariados, sendo responsável por apenas 2,3% do montante global estimado do poluente no Espírito Santo por fontes veiculares.

Gráfico 17: Percentual das Emissões de Metano (CH_4) por categoria no Espírito Santo.



A Tabela 15 apresenta as taxas de emissão de poluentes atmosféricos provenientes de escapamento veicular no Estado do Espírito Santo, segmentada por fonte de energia. Enquanto que a Tabela 16 traz os mesmos dados, mas em distribuição percentual. A análise dos dados revela que os veículos movidos à diesel e os modelos que apresentam tecnologia *flex fuel* detém as maiores taxas de emissão de poluentes. Em contrapartida, os veículos movidos à etanol hidratado apresentam o melhor desempenho ambiental, registrando os menores índices para todos os poluentes inventariados. Além disso, os dados da Tabela 16, apontam que o combustível diesel responde por expressivos 90,1% do montante total estimado de NOx no Estado por fonte veicular. Por outro lado, os veículos que apresentam tecnologia *flex fuel* que abrange automóveis, motocicletas e comerciais leves do ciclo Otto, são responsáveis por 66,1% do montante global de CO.

O óleo diesel consolida-se como a matriz energética preponderante nas emissões de material particulado ($MP_{2,5}$) e dióxido de enxofre (SO_2) de origem veicular. O combustível diesel responde por parcelas expressivas do inventário, sendo diretamente responsável por 92,9% do volume total estimado de $MP_{2,5}$ e por 87,6% das emissões de SO_2 geradas pelo processo de exaustão.

Tabela 14: Estimativa das Emissões de Escapamento por Tipo de Combustível no Estado do Espírito Santo (Kg/ano).

Combustível	Poluentes							Total
	CO	NOx	MP2,5	SO2	NMHC	CH4	HCT	
Gasolina C	3.764.296,6	370.778,1	7.857,1	9.129,8	465.301,4	75.263,3	540.564,7	5.233.190,9
Etanol Hidratado	7.575,6	5.485,8	ND	ND	6.421,4	1.025,9	7.444,5	27.953,1
Flex Fuel	12.514.931,6	1.210.549,1	22.808,1	48.205,2	1.159.366,1	152.787,7	1.312.395,4	16.421.043,2
GNV	132.812,2	68.777,8	ND	ND	6.166,3	52.176,2	58.342,5	318.275,0
Diesel	2.521.695,4	14.971.066,1	397.559,7	405.994,5	19.888,8	262.672,1	574.225,0	19.153.101,7
Total	18.941.311,4	16.626.656,9	428.224,9	463.329,5	1.657.144,0	543.925,2	2.492.972,1	41.153.563,9

Tabela 15: Percentual das Emissões de Escapamento por Fonte de Energia no Espírito Santo.

Combustível	CO	NOx	MP2,5	SO2	NMHC	CH4	HCT
Gasolina C	19,9%	2,2%	1,8%	2,0%	28,1%	13,8%	21,7%
Etanol Hidratado	0,0%	0,0%	ND	ND	0,4%	0,2%	0,30%
Flex Fuel	66,1%	7,3%	5,3%	10,4%	70,0%	28,1%	52,6%
GNV	0,7%	0,4%	ND	ND	0,3%	9,6%	2,4%
Diesel	13,3%	90,1%	92,9%	87,6%	1,2%	48,3%	23,0%
Total	100,0%	100%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

ND: Não Disponível

4.2.2. Estimativa de Emissão por Escapamento Regionalizada

A análise das emissões veiculares no Espírito Santo exige uma abordagem que considere a heterogeneidade do Estado, onde diferentes regiões apresentam perfis de mobilidade e atividades econômicas distintos. Para refletir essa realidade, o território estadual foi segmentado em unidades regionais de análise. Essa desagregação é estratégica para que os gestores públicos possam identificar zonas críticas de emissão e aplicar medidas de controle ambiental direcionadas às necessidades locais.

Desta forma, neste tópico, serão apresentados os percentuais de emissão de cada poluente segmentado por região, provenientes do escapamento veicular para as categorias automóveis, caminhões, ônibus, comerciais leves micro-ônibus e motocicletas, referente ao ano base 2024. De modo a facilitar o entendimento e a compreensão dos resultados obtidos, categorias foram agrupadas independentemente do tipo de combustível utilizado, conforme apresentado em tópico anterior.

Quanto à distribuição regional, os maiores índices de emissão para todos os poluentes avaliados foram observados na Região Metropolitana da Grande Vitória, seguida da Região Sul e Central, reflexo direto do maior volume numérico da frota circulante existente nessas localidades.

Para o poluente CO, a análise dos dados evidencia que as maiores taxas de emissão foram observadas para o segmento da automóveis e motocicletas, ao contrário do NOx, SO_2 e $MP_{2,5}$, nos quais as maiores emissões são registradas para o segmento de veículos pesados do ciclo diesel (Gráfico 18).

Conforme análise da Tabela 10, apresentada no tópico 4.1.1, a qual mostra a distribuição da frota circulante por região inventariada, evidencia-se que a região Sul possui um quantitativo de caminhões em circulação superior ao observado na Região Central. Considerando que os veículos pesados movidos à diesel constituem uma das principais fontes de emissão de NOx entre as fontes móveis, seria esperado que a Região Central apresentasse emissões de NOx inferiores às estimadas para a Região Sul. Entretanto, durante a etapa de

contabilização do inventário, com base nos dados de consumo de combustível nela observado, verificou-se que o município de Colatina, pertencente a Região Central, registrou volume de diesel comercializado significativamente superior aos demais municípios da região. Esse comportamento resultou na elevação do fator de ajuste da distância percorrida aplicado à frota de veículos do ciclo diesel, elevando, consequentemente, as estimativas de emissões desse poluente na Região. Esse resultado sugere que parte do diesel comercializado em Colatina pode estar sendo destinada a atividades não contempladas no escopo do transporte rodoviário, contribuindo para uma superestimação das emissões quando todo o volume comercializado é atribuído exclusivamente à circulação da frota. Comportamento análogo foi identificado para os poluentes SO_2 e $MP_{2,5}$, cujos resultados também são fortemente influenciados pelo consumo de diesel. Portanto, as emissões estimadas desses poluentes na Região Central devem ser interpretadas com cautela, uma vez que podem estar superestimadas em relação às emissões efetivamente atribuíveis ao transporte rodoviário na Região.

No caso do poluente SO_2, automóveis, comerciais leves e motocicletas registraram índices de emissão do poluente em menores proporções quando comparados aos segmentos de veículos pesados do ciclo diesel. Todavia, o segmento de veículos comerciais leves engloba tanto os veículos do ciclo Otto quanto do ciclo diesel, sendo que estes últimos registram maiores índices taxas de SO_2. Na regiões Central, Sul e Serrana, os dados apontam que os índices de emissão de SO_2 dos veículos comerciais leves superam os de automóveis, embora estes possuam um maior volume de frota circulante. Essa contradição decorre do incremento de comerciais leves à diesel, cujas elevadas taxas de emissão do poluente elevam o índice global da categoria, superando a de automóveis. Adicionalmente, na Região Central esse cenário foi intensificado pela maximização do fator de ajuste da distância percorrida, promovida pelo elevado consumo real observado comercializado de diesel no município de Colatina, parâmetro que elevou ainda mais as estimativas das emissões de SO_2 oriundas de veículos comerciais leves do ciclo diesel.

Para o conjunto de poluentes Hidrocarbonetos Totais (HCT), Hidrocarbonetos Não Metano (NMHC) e Metano (CH_4), os maiores índices de emissão foram registrados para o segmentos de automóveis, exceto no caso CH_4, no qual o segmento de caminhões apresentou índices de emissão significativos frente as emissões de HCT da categoria, divergindo do histórico em inventários de emissões veiculares, no qual suas emissões são praticamente negligenciáveis. Essa contradição pode estar relacionada aos fatores de emissão adotados, os quais, por derivarem de bases de dados distintas ou de diferentes ensaios laboratoriais diferentes, introduzem incertezas nos resultados finais, dificultando a comparabilidade dos dados.

No caso das emissões de NMHC, os dados apresentados consideram apenas as emissões individuais oriundas dos segmentos de veículos do ciclo Otto, além de comerciais leves do ciclo diesel, não estando incluídas as emissões individuais de NMHC oriundos de veículos pesados do ciclo diesel, haja vista, conforme discutido em tópico metodológico, que para veículos pesados do ciclo diesel, o poluente HCT é constituído majoritariamente de NMHC, e que segundo as diretrizes da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, os fatores de emissão do HTC são equivalentes ao NMHC para tais categorias. Por essa razão, as emissões de NMHC não foram estimadas separadamente, estando incluídas nas emissões de HCT.

Gráfico 18: Percentuais das Emissões de Monóxido de Carbono (CO) por Categoria e Região.

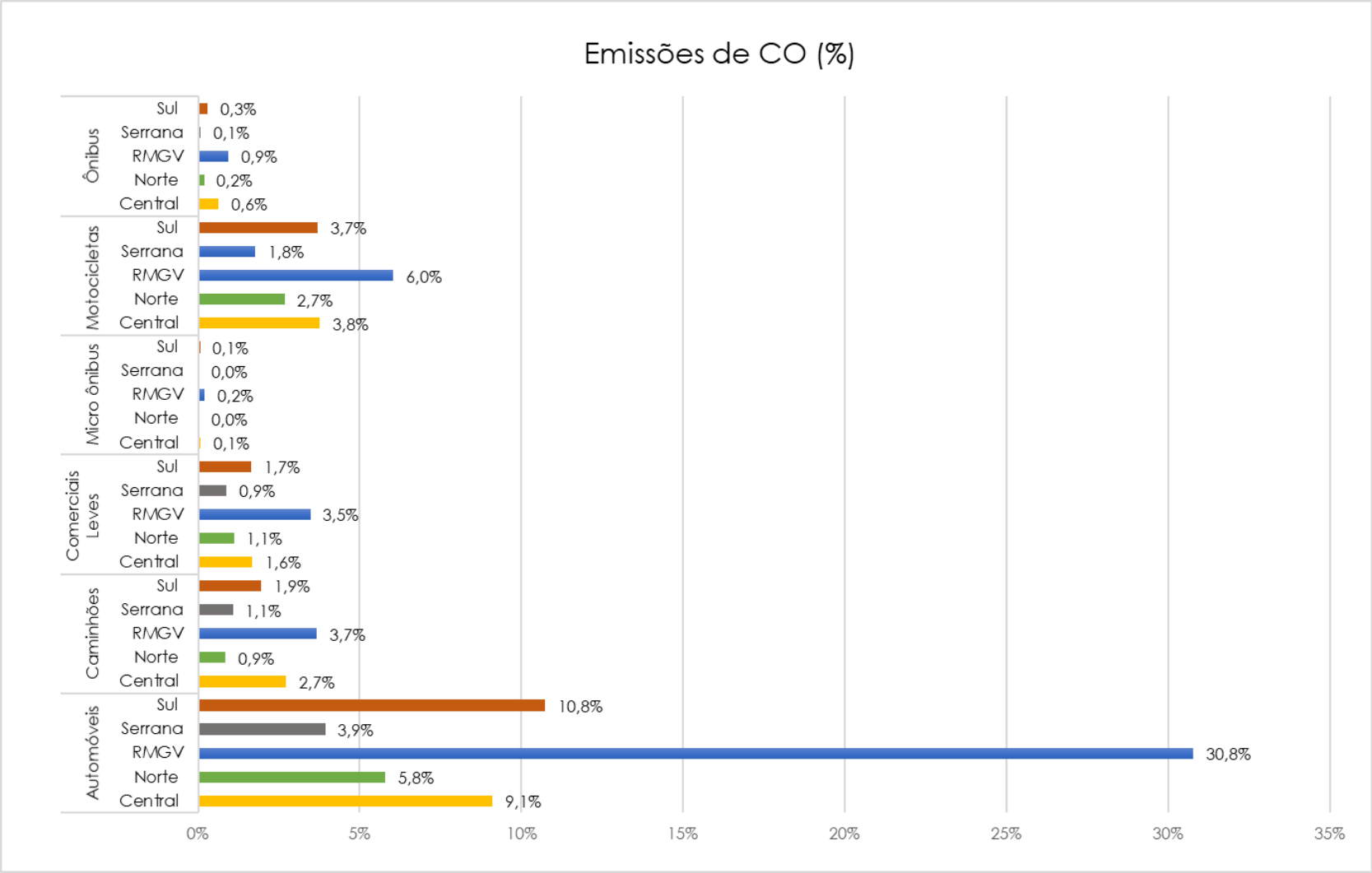


Gráfico 19: Percentuais de Emissão de Óxidos de Nitrogênio (NOx) por Categoria e Região.

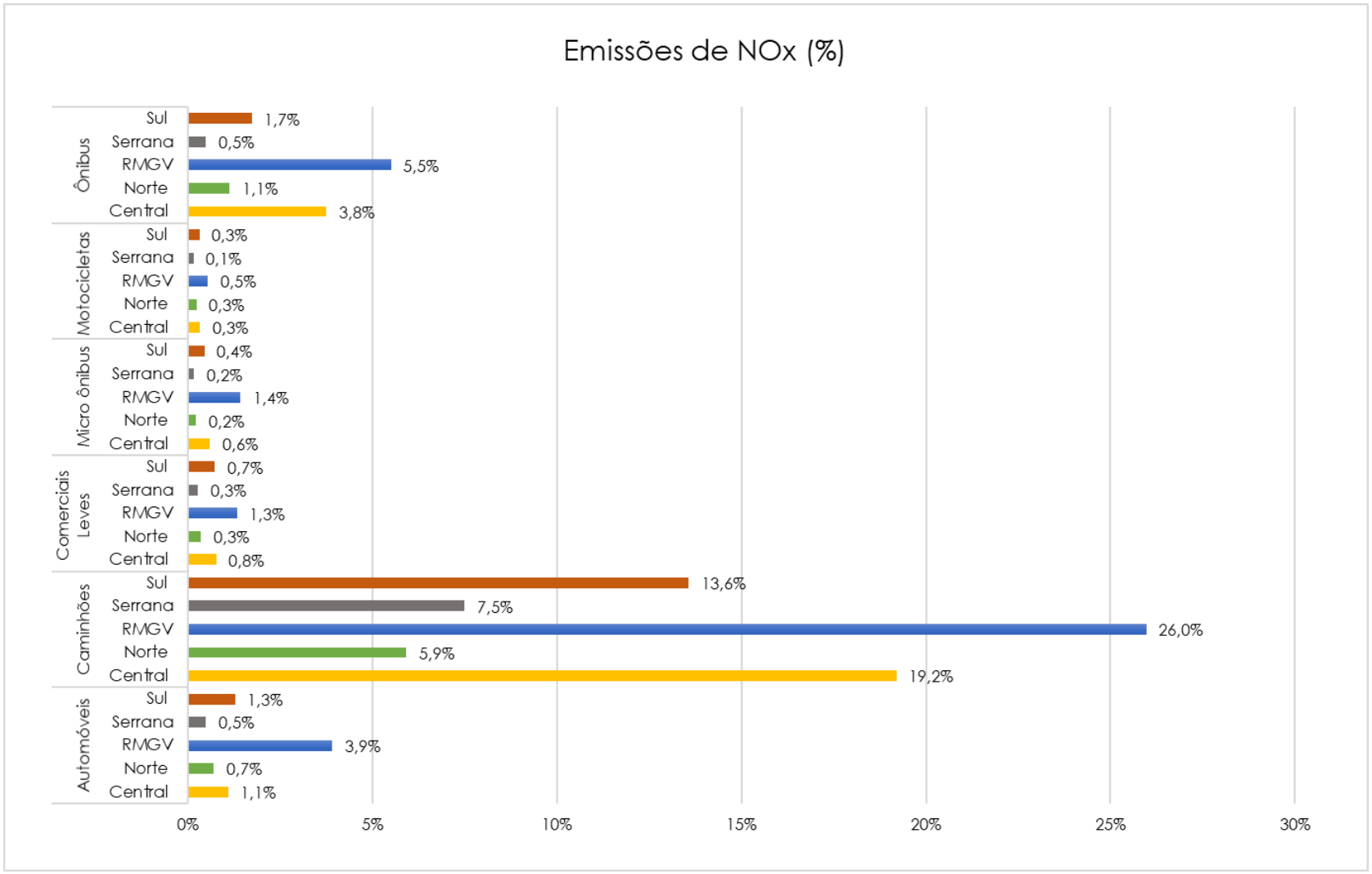


Gráfico 20: Percentuais de Emissão de Dióxido de Enxofre (SO_2) por Categoria e Região.

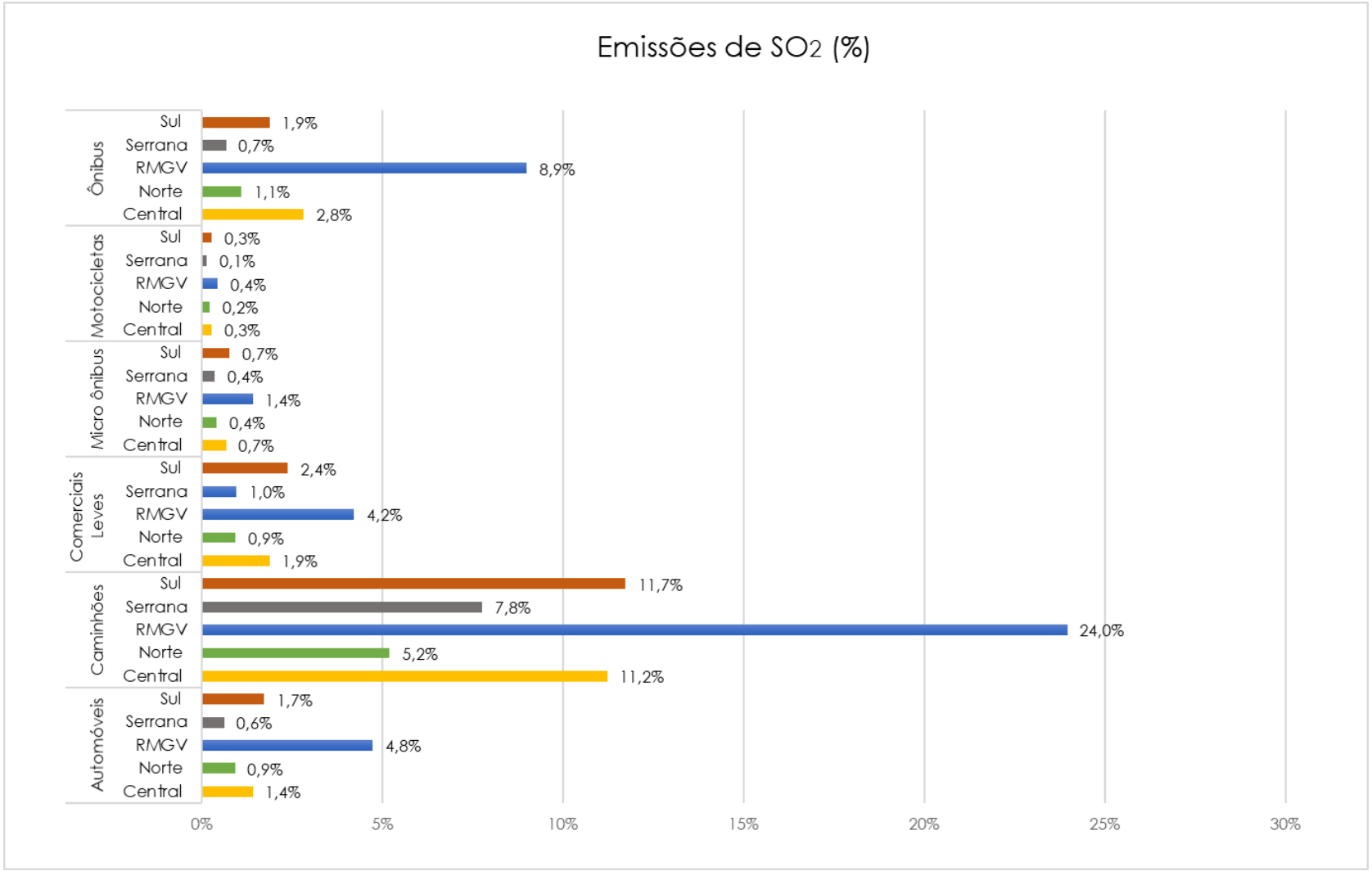


Gráfico 21: Percentuais de Emissão de Material Particulado ($MP_{2,5}$) de Escapamento por Categoria e Região.

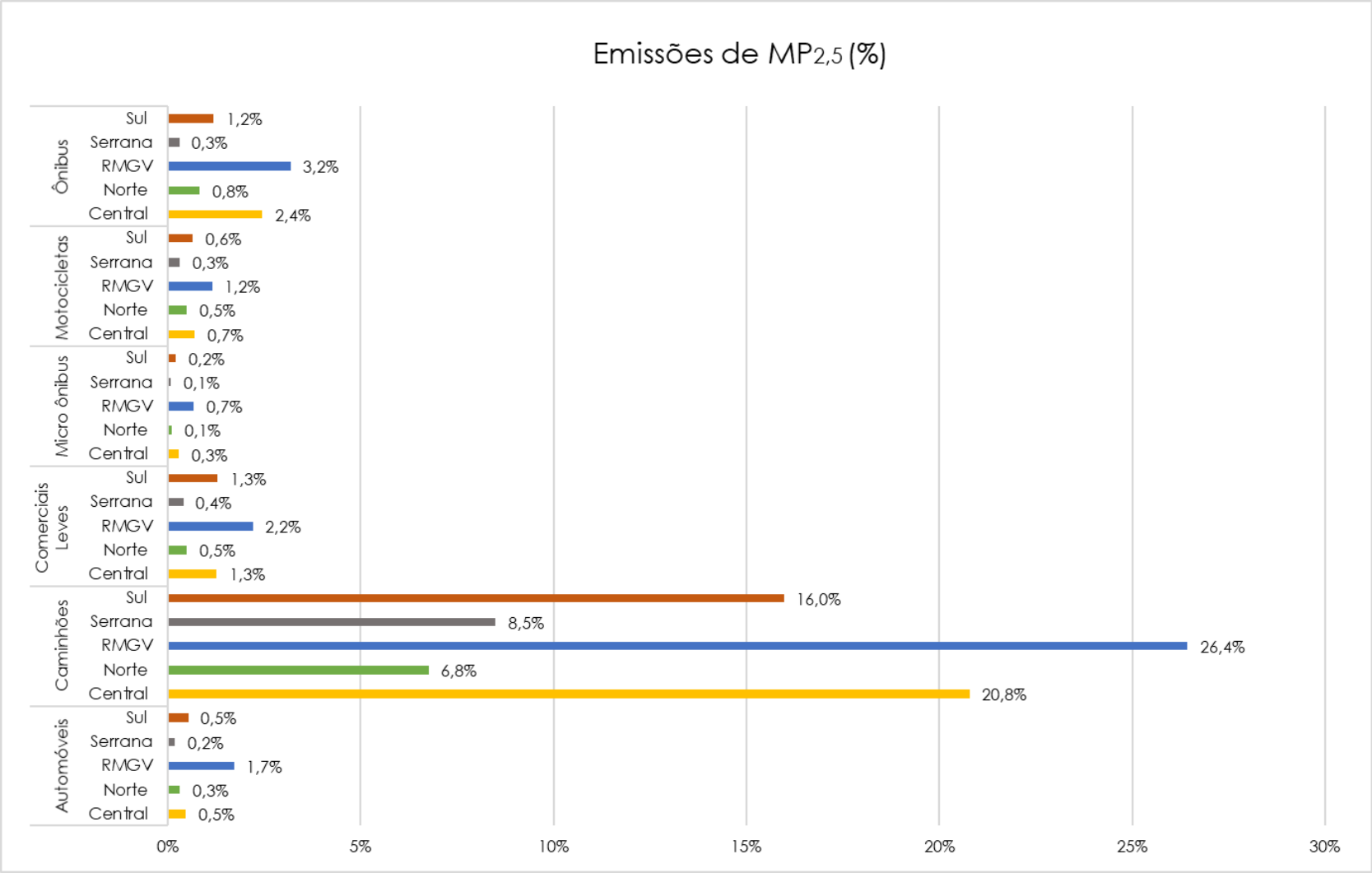


Gráfico 22: Percentuais de Emissão de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) por Categoria e Região.

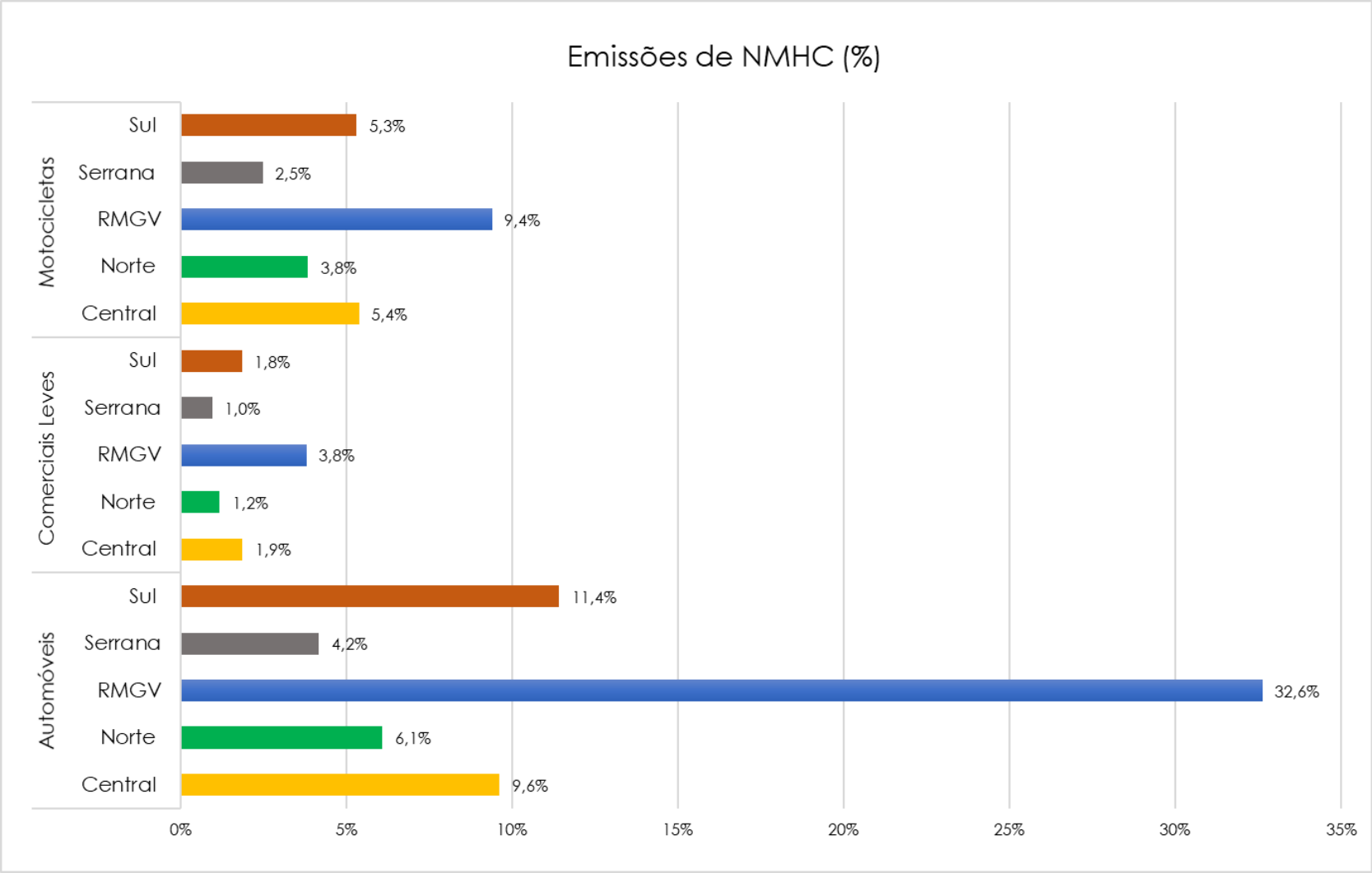


Gráfico 23: Percentuais de Emissão de Hidrocarbonetos Totais (HCT) por Categoria e Região.

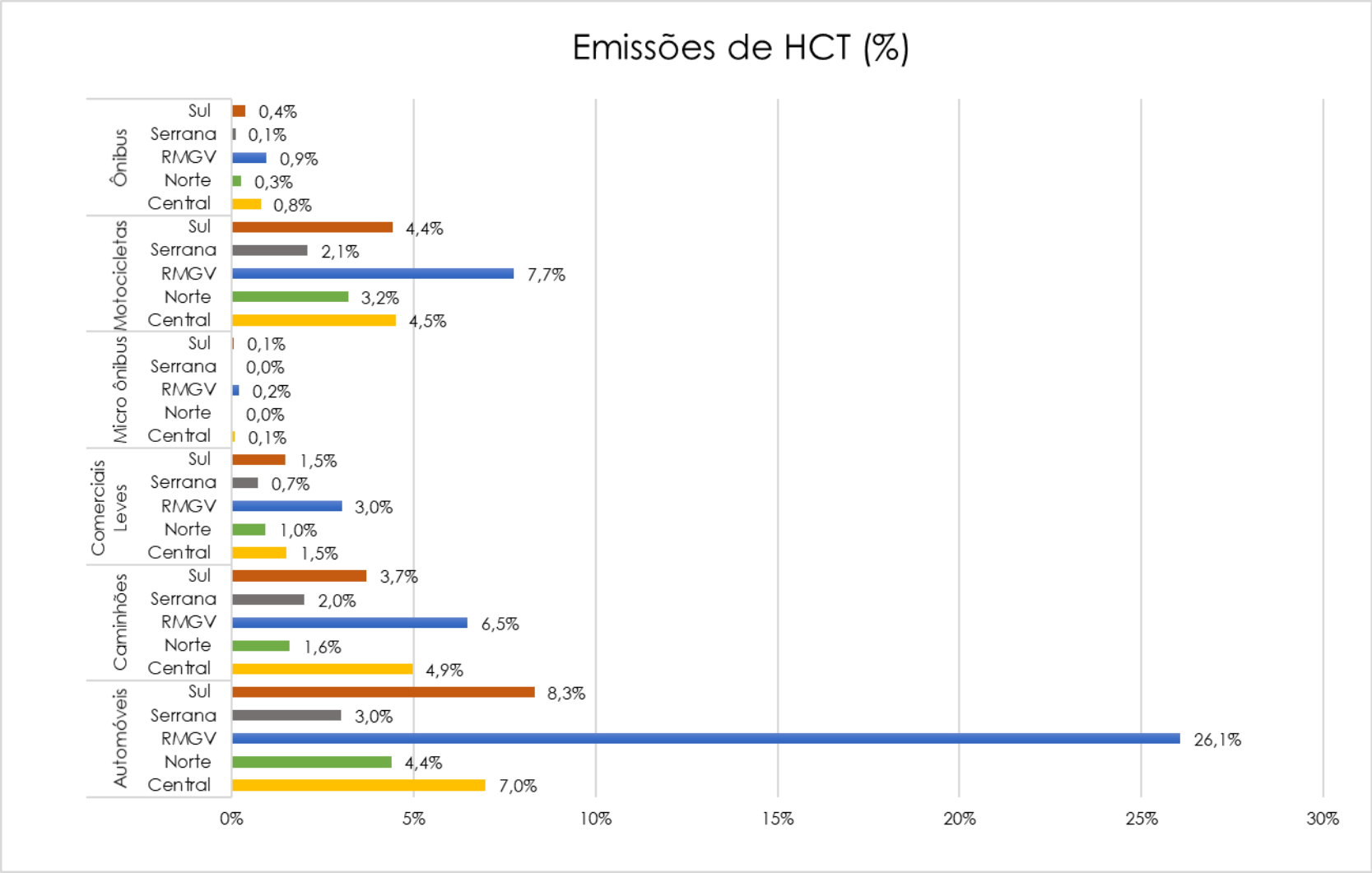
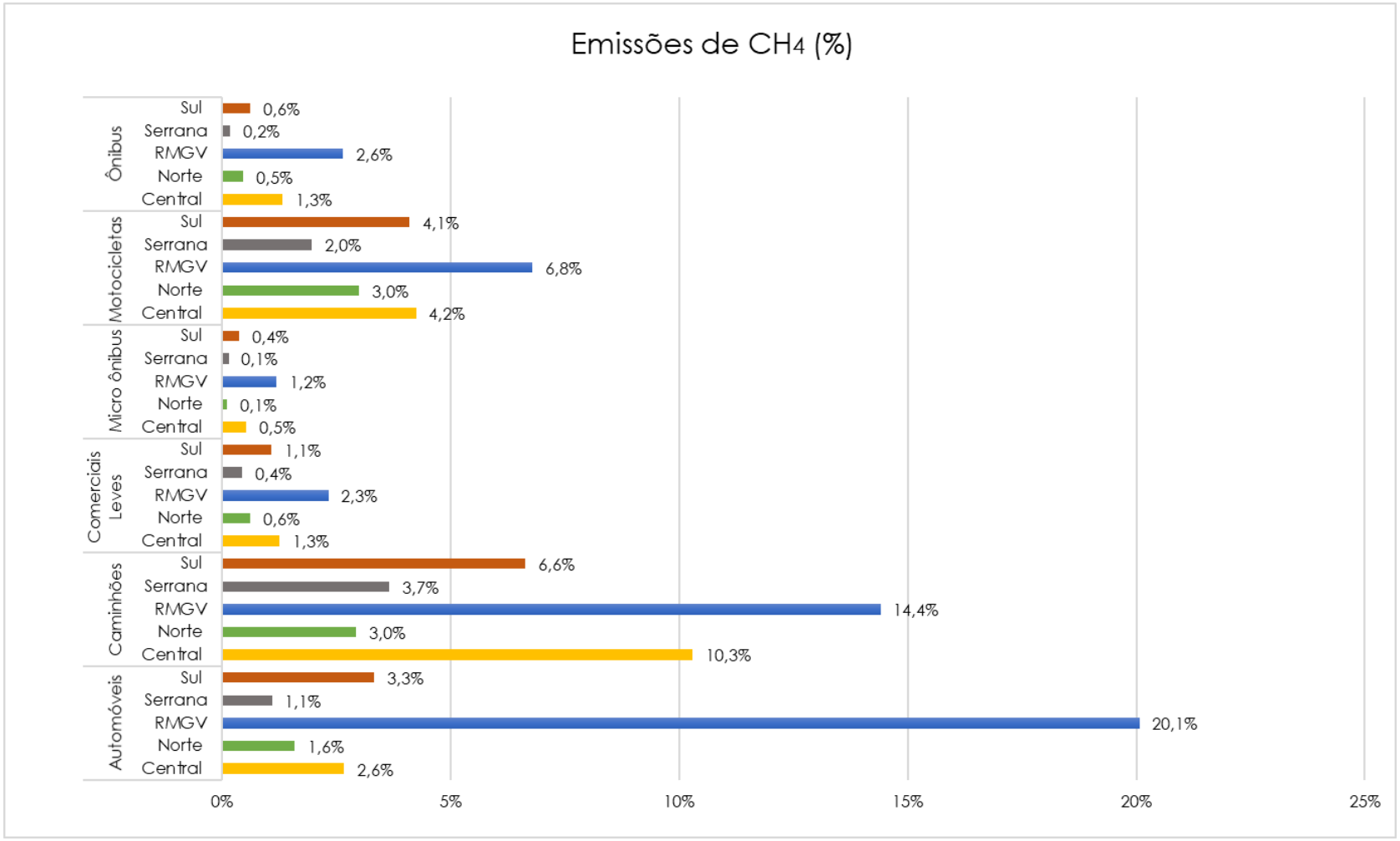


Gráfico 24: Percentuais de Emissão de Metano (CH4) por Categoria e Região.



4.2.3. Estimativa de Emissão Evaporativa e por Desgaste de Pneus, Freios e Pista no Espírito Santo

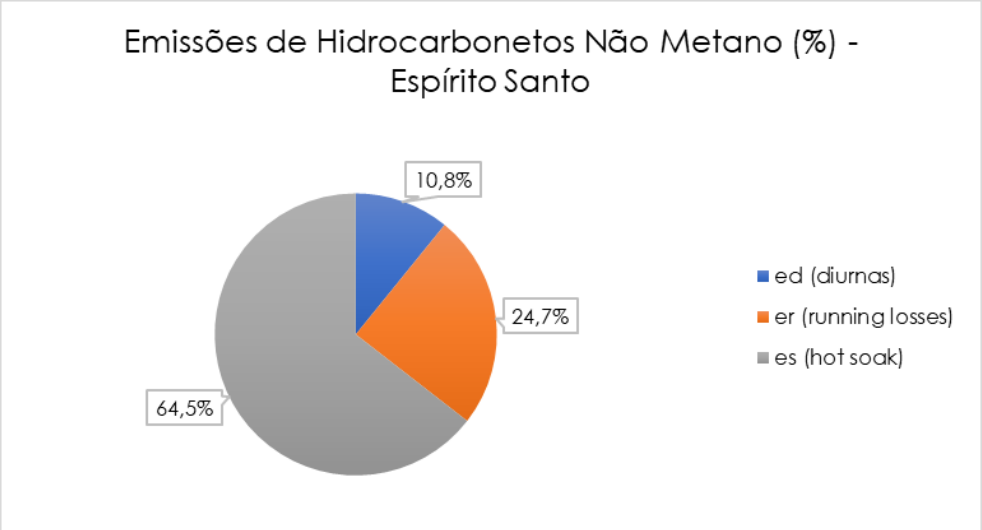
A Tabela 16 apresenta o quantitativo das emissões do poluente Hidrocarbonetos Não Metano (NMHC) por evaporação dos combustíveis para o Estado do Espírito Santo. Embora a frota de comerciais leves incluía veículos do ciclo diesel, a estimativa de emissões evaporativas exclui os veículos de tal segmento. Isso justifica-se pelo fato de o diesel possuir em sua composição hidrocarbonetos mais pesados, possuindo menor pressão de vapor quando comparado a gasolina C. Consequentemente, as emissões de NMHC desse segmento são reduzidas, sendo, portanto, desconsideradas no cálculo.

Tabela 16: Emissões Evaporativas de NMHC por Categoria no Espírito Santo.

Categoria	Combustível	Emissões Evaporativas (Kg/ano)		
		ed (diurnas)	er(running losses)	es(hot Soak)
Automóveis	Gasolina C	12.962,6	26.935,4	51.623,8
	Etanol Hidratado	1.482,5	2.738,3	3.490,8
	Flex Gasolina C	36.937,4	81.936,6	248.762,8
	Flex Etanol	5.927,7	17.124,2	38.553,9
Comerciais Leves	Gasolina C	1.045,7	4.193,0	6.590,4
	Etanol Hidratado	199,8	217,4	262,8
	Flex Gasolina C	5.027,9	11.134,0	28.762,9
	Flex Etanol	706,7	1.945,9	4.178,2
Total		64.290,4	146.224,8	382.225,7
		592.740,9		

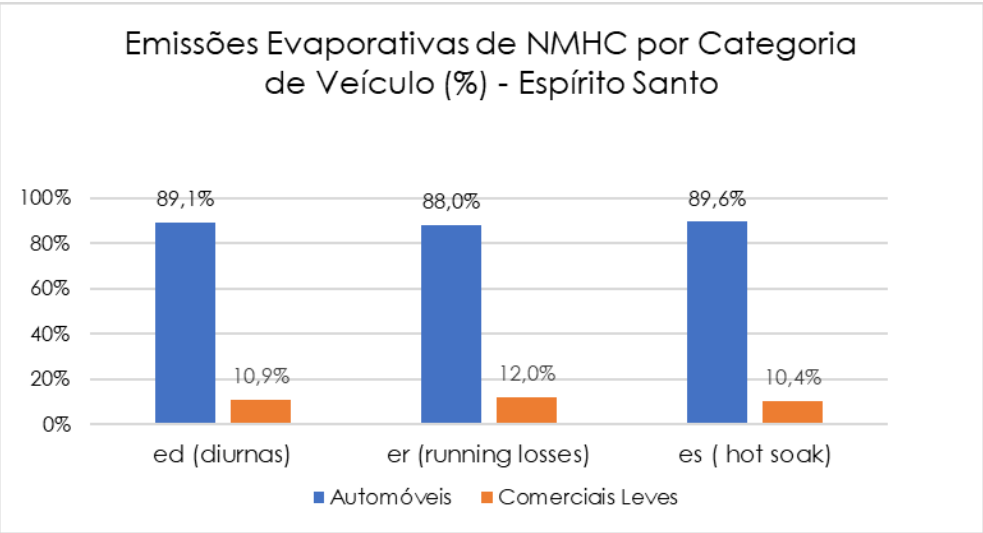
O Gráfico 25 ilustra a distribuição percentual de cada fase regulamentar no cômputo geral das emissões evaporativas de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC). A análise dos dados revela a proeminência da fase *hot soak,* responsável por 64,5% do total estimado. Em segundo lugar, as perdas em movimento (*running losses*) respondem por 24,7% das emissões. Por fim, a menor contribuição provém da fase diurna, que perfaz apenas 10,8% do montante global de NMHC, originado pelo processo de evaporação dos combustíveis.

Gráfico 25: Percentuais das Fases de Emissão Evaporativas.



O Gráfico 26 apresenta a contribuição percentual de cada categoria veicular inventariada em relação às diferentes fases de emissão evaporativa. A análise dos dados revela a dominância expressiva do segmento de automóveis, que desponta como a principal fonte emissora em todos os cenários avaliados. Na fase diurna, os automóveis respondem por 89,1% do volume total emitido, ao passo que nas fases *running losses* e *hot soak*, essa participação atinge 88% e 89,6%, respectivamente.

Gráfico 26: Percentuais de Emissão Evaporativa de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) por Categoria em Cada Fase no Espírito Santo.



Além dos gases de escapamento, o degaste mecânico dos pneus, freios e pista é uma fonte significativa de material particulado atmosférico. Esses processos geram partículas de diversas granulometrias, quantificadas neste estudo como PTS, MP_{10} e $MP_{2,5}$. PTS englobam material sólido ou líquido suspenso na atmosfera (como poeira, fumaça e fuligem) com diâmetro aerodinâmico de 35µm. Por sua vez, as siglas MP_{10} e $MP_{2,5}$ representam as frações finas, com diâmetros de partícula iguais ou inferiores a 10 e 2,5 µm, respectivamente.

Os resultados das Tabelas 17 e 18 indicam que os caminhões lideram as emissões em todas as frações granulométricas, seguidos pelos automóveis, apesar de representarem uma parcela significativamente menor da frota. Esse comportamento é explicado pelos elevados fatores de emissão associados aos caminhões, pela sua maior massa bruta veicular e pelos maiores níveis de intensidade de uso, expressos pela maior distância média percorrida ao longo do ano.

Cabe destacar que embora os caminhões liderem as emissões de material particulado por desgaste e pneus, freios e pista devido ao seu peso e altos fatores de emissão, a subcategoria de automóveis *flex fuel* (flex gasolina C) obteve o maior volume total emitido individualmente. Isso justifica-se pelo expressivo tamanho da frota circulante da categoria, que compensa os seus fatores de emissão mais baixos, superando o impacto dos caminhões no balanço final de todas as frações granulométricas.

Tabela 17: Emissões de Material Particulado por Desgaste de Pneus e Freios no Espírito Santo.

Categoria	Combustível	Emissões de Material Paticulado (kg/ano)		
		PTS	PM10	PM2,5
Automóveis	Gasolina C	15.837,4	12.008,6	6.439,4
	Etanol Hidratado	113,6	86,2	46,2
	Flex Gasolina C	162.064,3	122.883,9	65.894,3
	Flex Etanol	22.438,1	17.013,5	9.123,2
	GNV	4.316,4	3.272,9	1.755,0
Comerciais Leves	Gasolina C	3.478,1	2.637,2	1.414,2
	Etanol Hidratado	5,6	4,2	2,3
	Flex Gasolina C	24.342,5	18.457,5	9.897,5
	Flex Etanol	2.912,5	2.208,3	1.184,2
	Diesel	27.640,5	20.958,2	11.238,4
Caminhões S Leves	Diesel	3.045,5	2.300,1	1.245,9
Caminhões Leves		13.695,8	10.343,7	5.602,8
Caminhões Médios		34.630,2	26.295,8	14.083,9
Caminhões S Pesados		93.883,6	71.288,7	38.181,7
Caminhões Pesados		113.598,8	86.259,1	46.199,8
Ônibus Urbanos	Diesel	29.353,4	22.289,0	11.937,8
Ônibus Rodoviários	Diesel	10.490,1	9.160,8	4.266,2
Micro-ônibus	Diesel	19.421,1	13.551,7	7.898,4
Motocicletas	Gasolina C	15.022,7	11.583,8	6.153,9
	Flex Gasolina C	16.615,0	12.811,6	6.806,1
	Flex Etanol	1.828,1	1.409,6	748,9
Total		614.733,36	466.824,31	250.120,09

Tabela 18: Emissões de Material Particulado por Desgaste da Pista no Espírito Santo.

Categoria	Combustível	Emissões de Material Paticulado (kg/ano)		
		PTS	MP10	MP2,5
Automóveis	Gasolina C	13.052,8	6.526,4	3.567,8
	Etanol Hidratado	93,6	46,8	25,6
	Flex Gasolina C	133.569,5	66.784,7	36.509,0
	Flex Etanol	18.492,9	9.246,5	5.054,7
	GNV	3.557,5	1.778,7	972,4
Comerciais Leves	Gasolina C	2.866,5	1.433,3	783,5
	Etanol Hidratado	4,6	2,3	1,3
	Flex Gasolina C	20.062,5	10.031,3	5.483,8
	Flex Etanol	2.400,4	1.200,2	656,1
	Diesel	22.780,6	11.390,3	6.226,7
Caminhões S leves	Diesel	1.597,3	798,6	436,6
Caminhões Leves		7.183,1	3.591,6	1.963,4
Caminhões Médios		33.872,6	16.936,3	9.136,7
Caminhões S Pesados		91.829,5	45.914,8	24.769,8
Caminhões Pesados		111.113,4	55.556,7	29.971,4
Ônibus Urbanos	Diesel	28.711,2	14.355,6	7.744,5
Ônibus Rodoviários		10.996,0	5.130,3	2.767,6
Micro ônibus	Diesel	18.260,8	9.498,1	5.124,0
Motocicletas	Gasolina C	10.859,8	5.429,9	2.896,0
	Flex Gasolina C	12.010,8	6.005,4	3.202,9
	Flex Etanol	1321,52684	660,7634201	352,4071574
Total		544.637,01	272.318,50	147.645,98

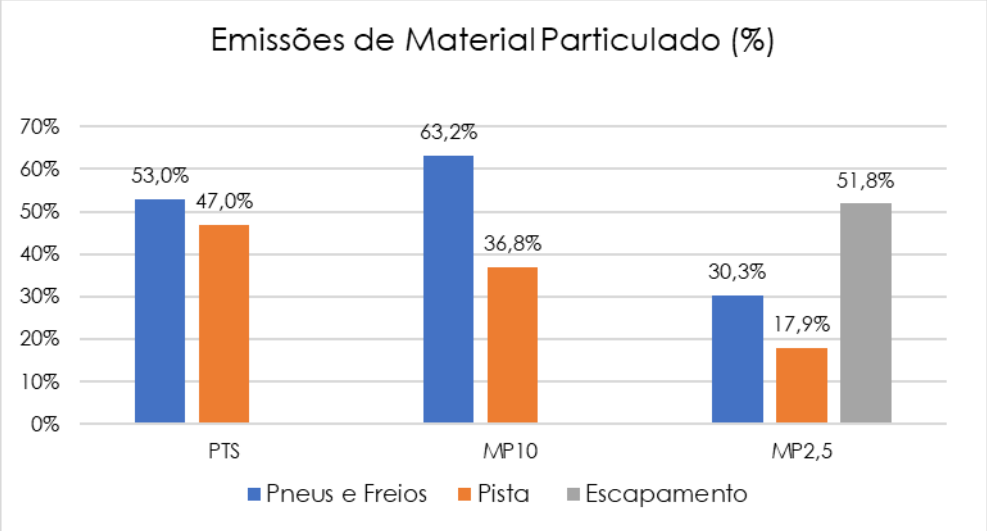
Com base nos resultados, o volume global das emissões de material particulado foi quantificado por fração granulométrica e fonte emissora. A análise do Gráfico 27 evidencia que 53% das emissões de totais de PTS decorrem do desgaste de pneus e freios, ao passo, que 47% provém do desgaste da pista. Para o $MP_{10,}$ o desgaste de pneus e freios responde por 63,2%, enquanto o desgaste da pista representa 36,8% do volume total estimado do poluente. Por fim, o perfil altera significativamente para a fração fina ($MP_{2,5}$). O escapamento veicular desponta como a principal fonte de $MP_{2,5}$, com 51,8% das emissões,

seguido pelo desgaste de pneus e freios, com 30,3% e, com menor contribuição, pelo desgaste da pista com 17,9% do volume total estimado do poluente.

Tabela 19: Estimativa das Emissões de Material Particulado (Kg/ano) no Espírito Santo.

Emissões	PTS	MP10	MP2,5
Pneus e Freios	614.733,36	466.824,31	250.120,09
Pista	544.637,01	272.318,50	147.645,98
Escapamento	-	-	428.224,87
Total	1.159.370,36	739.142,82	825.990,93

Gráfico 27: Percentuais das Emissões de Material Particulado (MP) por Fonte de Emissão.



4.2.4. Estimativas das Emissões Totais no Espírito Santo

A Tabela 20 apresenta um quadro-resumo das estimativas das taxas de emissão provenientes das fontes de escapamento, das emissões evaporativas e do desgaste de pneus, freios e pista, discriminadas por categoria veicular e por tipo de combustível.

Destaca-se que, com o objetivo de facilitar a visualização e a interpretação dos resultados, as emissões de material particulado associadas ao desgaste de pneus, freios e pista foram agrupadas independentemente dos processos físicos geradores. Assim, as emissões provenientes dos diferentes processos físicos de desgaste de pneus e freios e pista foram apresentadas de forma consolidada para cada fração granulométrica de material particulado inventariada.

Tabela 20: Estimativas das Emissões Totais de Escapamento Veicular, Evaporativas e por Desgaste de Pneus, Freios e Pista (kg/ano).

Categoria	Combustível	Escapamento							Evaporativas	Desgaste de Pneus, Freios e Pista		
		CO	NO_X	MP2,5	SO_2	NMHC	HCT	CH4	NMHC	PTS	MP10	MP2,5
Automóveis	Gasolina C	1.678.892,2	205.027,5	1.006,7	4.828,1	160.484,9	178.144,0	17.659,1	91.521,8	28.890,2	18.535,0	10.007,1
	Etanol Hidratado	6.885,7	5.345,2	ND	ND	6.320,9	7.299,9	979,0	7.711,6	207,3	133,0	71,8
	Flex Gasolina C	8.774.639,8	897.665,2	12.381,3	38.664,1	786.834,2	842.675,1	55.841,0	367.636,8	295.633,8	189.668,7	102.403,3
	Flex Etanol	840.993,0	59.407,2	428,4	ND	99.659,5	129.299,2	29.639,7	61.605,8	40.931,0	26.259,9	14.177,9
	GNV	132.812,2	68.777,8	ND	ND	6.166,3	58.342,5	52.176,2	ND	7.873,9	5.051,6	2.727,4
Comerciais Leves	Gasolina C	222.326,2	23.242,1	259,2	1.097,7	19.068,0	20.808,9	1.740,9	11.829,2	6.344,6	4.070,5	2.197,7
	Etanol Hidratado	689,9	140,6	ND	ND	100,4	144,6	46,9	680,1	10,1	6,5	3,5
	Flex Gasolina C	1.254.908,6	133.419,0	2.345,2	6.526,8	111.410,2	121.655,9	10.245,7	44.924,8	44.405,1	28.488,8	15.381,3
	Flex Etanol	103.208,8	7.716,5	56,5	ND	9.627,2	13.387,8	3.760,5	6.830,8	5.312,8	3.408,5	1.840,3
	Diesel	88.886,6	405.948,0	21.631,8	40.402,8	19.888,8	34.880,3	15.195,8	ND	50.421,1	32.348,5	17.465,2
Caminhões S Leves	Diesel	23.119,1	133.295,3	3.970,1	3.475,1	0,0	5.462,1	5.946,3	ND	4.642,8	3.098,7	1.682,5
Caminhões Leves		201.115,8	1.102.286,2	31.739,8	25.435,8	0,0	46.578,9	26.691,3	ND	20.879,0	13.935,3	7.566,2
Caminhões Médios		159.972,9	938.100,8	25.507,7	23.174,8	0,0	36.529,5	24.695,1	ND	68.502,8	43.232,1	23.220,5
Caminhões S Pesados		708.749,9	4.419.725,1	127.181,5	101.907,1	0,0	165.203,3	67.401,9	ND	185.713,1	117.203,5	62.951,6
Caminhões Pesados		854.801,4	5.405.188,8	147.623,8	123.319,7	0,0	213.425,3	81.586,0	ND	224.712,3	141.815,8	76.171,2
Ônibus Urbanos	Diesel	326.625,3	1.598.321,2	24.507,2	52.665,8	0,0	44.240,5	20.480,0	ND	58.064,6	36.644,6	19.682,3
Ônibus Rodoviários		78.203,7	495.189,6	9.547,3	18.859,6	0,0	17.584,6	7.973,5	ND	21.486,0	14.291,1	7.033,9
Micro-ônibus		80.220,5	473.011,1	5.850,5	16.753,7	0,0	10.320,6	12.702,3	ND	37.681,9	23.049,8	13.022,4
Motocicletas	Gasolina C	1.863.078,1	142.508,5	6.591,1	3.204,0	285.748,5	341.611,8	55.863,3	ND	25.882,6	17.013,7	9.049,8
	Flex Gasolina C	1.389.067,8	104.404,7	6.843,6	3.014,2	132.125,4	178.820,9	46.524,3	ND	28.625,9	18.817,0	10.009,0
	Flex Etanol	152.113,6	7.936,5	753,1	ND	19.709,5	26.556,5	6.776,5	ND	3.149,6	2.070,4	1.101,3
Total		18.941.311,4	16.626.656,9	428.224,9	463.329,5	1.657.144,0	2.492.972,1	543.925,2	592.740,9	1.159.370,4	739.142,8	397.766,1

ND: Não Disponível

4.2.5. Estimativa de Emissão na Região Metropolitana da Grande Vitória

A Região Metropolitana da Grande Vitória apresenta-se como a região mais desenvolvida do Estado do Espírito Santo, com a presença significativa de complexos industriais de grande porte, como siderurgia, atividades do setor de mineração e complexos portuários, além de possuir uma massiva frota circulante de veículos, que contribui significativamente para as emissões atmosféricas. É nessa região também que a maior parte da população do estado reside, sendo diretamente impactada pelos resultados das emissões atmosféricas de todas as fontes citadas. Essa combinação torna fundamental a realização de um inventário mais específico e detalhado para a região, o que inclui o levantamento das emissões pelas fontes veiculares, a fim de subsidiar políticas públicas de controle ambiental e planejamento urbano.

Conforme já citado anteriormente, comunicamos que o presente Inventário de Emissões Veiculares incorpora atualizações metodológicas aplicadas a determinados poluentes em relação ao estudo de 2023, realizado especificamente para a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), resultando em variações nos resultados finais apresentados. Os dados da Região Metropolitana são aqui apresentados em tópico específico visando, principalmente, permitir a análise de evolução da série histórica, visto que os inventários de anos anteriores englobavam somente essa região. Além disso, o aumento no volume real observado comercializado de etanol hidratado na Região Metropolitana da Grande Vitória no ano de 2024 contribuiu para as oscilações nos resultados, haja vista possuir menores fatores de emissão para os poluentes frente à combustível gasolina C.

A Tabela 21 ilustra a estimativa das taxas de emissões (kg/ano) de escapamento veicular da RMGV, para os poluentes monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado ($MP_{2,5}$), dióxido de enxofre (SO_2), metano (CH_4), hidrocarbonetos não-metano (NMHC) e hidrocarbonetos Totais (HCT) para cada categoria inventariada e por combustível. De maneira similar às emissões totais de escapamento estimadas para o Estado, a análise dos dados evidencia que o CO e NOx registram as maiores taxas de emissão. Em contrapartida, os demais poluentes apresentam menor participação relativa,

com destaque para o SO_2 e $MP_{2,5}$, cujas emissões por escapamento se mostram mais residuais no conjunto avaliado.

Tabela 21: Emissões de Escapamento Veicular na Região Metropolitana da Grande Vitória por Categoria e Combustível.

Categoria	Combustível	Emissões por Escapamento (kg/ano)						
		CO	NOx	MP2,5	SO2	NMHC	HCT	CH4
Automóveis	Gasolina C	919.364,6	111.648,3	595,3	2.983,0	87.459,2	96.619,8	9.160,6
	Etanol hidratado	4.039,6	3.164,5	ND	ND	3.738,5	4.313,1	574,5
	Flex Gasolina C	4.194.641,4	425.142,7	6.426,3	18.951,2	374.338,7	400.883,2	26.544,5
	Flex Etanol	581.298,7	40.734,1	331,1	ND	69.121,9	89.865,5	20.743,7
	GNV	132.812,2	68.777,8	ND	ND	6.166,3	58.342,5	52.176,2
Comerciais Leves	Gasolina C	128.738,3	13.376,7	174,5	716,5	10.964,9	11.842,3	877,5
	Etanol Hidratado	322,8	66,6	ND	ND	47,8	68,8	22,9
	Flex Gasolina C	435.287,2	45.830,3	871,1	2.670,7	38.546,5	42.162,5	3.616,0
	Flex Etanol	59.121,4	4.410,8	34,7	ND	5.585,3	7.776,6	2.191,3
	Diesel	34.588,1	156.857,4	8.380,6	16.114,1	7.780,1	13.461,4	5.937,0
Caminhões S Leves	Diesel	8.580,4	49.785,2	1.414,4	1.440,1	ND	2.016,0	2.329,0
Caminhões Leves		72.944,3	395.892,4	10.645,7	10.185,4	ND	16.173,9	10.121,2
Caminhões Médios		58.877,1	343.889,9	8.878,7	9.410,0	ND	12.982,1	9.496,6
Caminhões S Pesados		251.936,3	1.590.676,2	42.917,6	40.722,8	ND	57.006,0	25.539,6
Caminhões Pesados		304.231,1	1.938.277,9	49.335,6	49.246,6	ND	73.449,3	30.885,7
Ônibus Urbanos	Diesel	143.575,6	711.733,7	9.917,5	30.310,0	ND	17.190,8	10.687,5
Ônibus Rodoviários		32.887,4	203.505,6	3.727,4	11.328,3	ND	6.699,0	3.723,0
Micro-ônibus		40.451,0	236.022,8	2.903,6	6.539,0	ND	5.265,5	6.458,0
Motocicletas	Gasolina C	681.954,8	55.156,1	2.634,6	1.243,7	108.688,4	129.672,3	20.983,9
	Flex Gasolina C	387.173,8	28.871,2	1.927,6	792,5	37.083,5	50.155,3	12.593,5
	Flex Etanol	75.070,9	3.965,2	377,1	ND	9.952,9	13.372,4	3.321,0
Total		8.547.897,1	6.427.785,5	151.493,2	202.653,7	759.473,9	1.109.318,3	257.983,1

ND: Não Disponível

A Tabela 22 traz o quantitativo das emissões em quilogramas/ano obtidos na Região Metropolitana da Grande Vitória por fonte de energia. Conforme análise dos dados, observa-se uma disparidade significativa entre as fontes de combustível. A análise indica que os veículos movidos à diesel e os que apresentam tecnologia *flex fuel* detém as maiores taxas de emissão total de poluentes. Em contrapartida, os veículos com emprego de etanol hidratado como combustível, registram o menor impacto ambiental por escapamento na região.

Conforme a análise da Tabela 23, na Região Metropolitana da Grande Vitória, o combustível diesel é responsável por 87,5% das emissões de NOx. O diesel também lidera as emissões de material particulado ($MP_{2,5}$) e dióxido de enxofre (SO_2) provenientes do processo de exaustão, respondendo por 91,2% e 86,5%, respectivamente. Desta forma, os dados evidenciam o papel predominante do diesel como fonte de poluentes atmosféricos mais nocivos à saúde e ao meio ambiente, mesmo tendo uma frota significativamente menor que de outras categorias. Já o monóxido de carbono (CO) é emitido principalmente por veículos que apresentam tecnologia *flex fuel*, como automóveis, veículos comerciais leves e motocicletas, correspondendo a 67,1% do total estimado.

Tabela 22: Estimativa das Emissões de Escapamento segmentada por Fonte de Energia (Kg/ano).

Combustível	Poluentes							Total
	CO	NOx	MP2,5	SO2	NMHC	CH4	HCT	
Gasolina C	1.730.057,8	180.181,2	3.404,4	4.943,1	207.112,5	31.021,9	238.134,4	2.394.855,2
Etanol Hidratado	4.362,4	3.231,1	ND	ND	3.786,3	597,4	4.381,8	16.359,1
Flex Fuel	5.732.593,5	548.954,3	9.967,8	22.414,4	534.628,8	69.010,0	604.215,6	7.521.784,4
GNV	132.812,2	68.777,8	ND	ND	6.166,3	52.176,2	58.342,5	318.275,0
Diesel	948.071,2	5.626.641,2	138.121,1	175.296,2	7.780,1	105.177,6	204.243,9	7.205.331,2
Total	8.547.897,1	6.427.785,5	151.493,2	202.653,7	759.473,9	257.983,1	1.109.318,3	17.456.604,9

Tabela 23: Percentuais de Emissão de cada Poluente por Fonte de Energia.

Combustível	CO	NOx	MP2,5	SO2	NMHC	CH4	HCT
Gasolina C	20,2%	2,8%	2,2%	2,4%	27,2%	12,0%	21,5%
Etanol	0,1%	0,1%	ND	ND	0,6%	0,2%	0,4%
Flex Fuel	67,1%	8,5%	6,6%	11,1%	70,4%	26,8%	54,5%
GNV	1,5%	1,1%	ND	ND	0,8%	20,2%	5,2%
Diesel	11,1%	87,5%	91,2%	86,5%	1,0%	40,8%	18,4%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

ND: Não Disponível

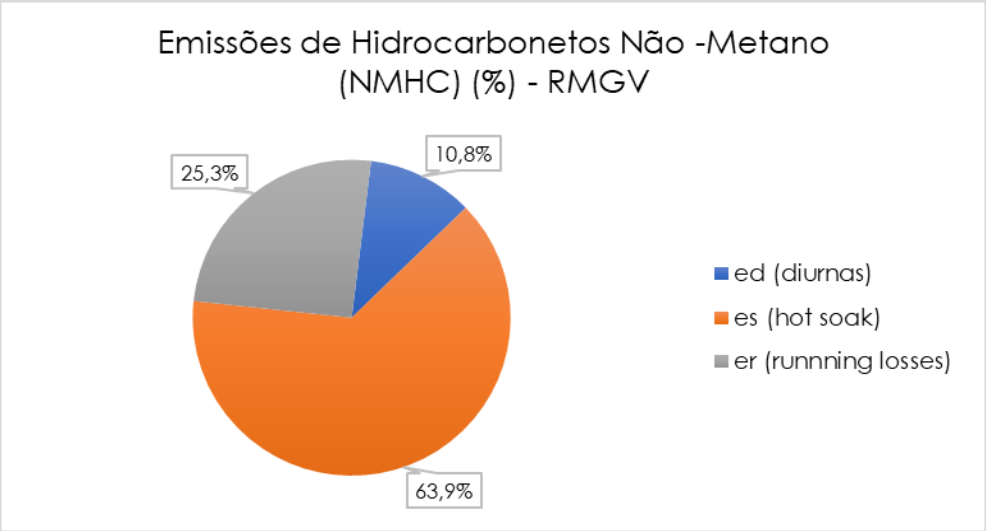
A Tabela 24 apresenta o panorama das emissões evaporativas de NMHC na Região Metropolitana da Grande Vitória por segmentos e combustível. A análise dos dados revela que o maior impacto decorre das emissões do tipo *hot soak*, seguida da fase *running losses*. Adicionalmente, os automóveis lideram as emissões evaporativas de NMHC na Grande Vitória, superando os segmentos de comerciais leves. O principal fator para esse resultado é o tamanho da frota circulante, que é significativamente maior na categoria de automóveis. Cabe ressaltar que embora o segmento de veículos comerciais leves abrange tanto os modelos do ciclo Otto e do ciclo diesel, estes últimos não foram contabilizados nas estimativas de emissões evaporativas de NMHC, conforme a justificativas descrita anteriormente.

Tabela 24: Estimativa das Emissões de Evaporativas de NMHC por Categoria na Região Metropolitana da Grande Vitória.

Categoria	Combustível	Emissoes Evaporativas (Kg/ano)		
		ed (diurnas)	er (running losses)	es (hot soak)
Automóveis	Gasolina C	6.515,22	13.982,53	27.052,18
	Etanol Hidratado	860,56	1.643,96	2.075,61
	Flex Gasolina C	17.662,23	39.431,46	115.811,94
	Flex Etanol	4.108,14	11.798,86	26.504,68
Comerciais Leves	Gasolina C	109,89	1.804,08	3.059,25
	Etanol Hidratado	97,01	103,70	126,41
	Flex Gasolina C	1.781,93	3.900,40	9.816,73
	Flex Etanol	403,06	1.119,26	2.384,48
Total		31.538,05	73.784,24	186.831,26
		292.153,55		

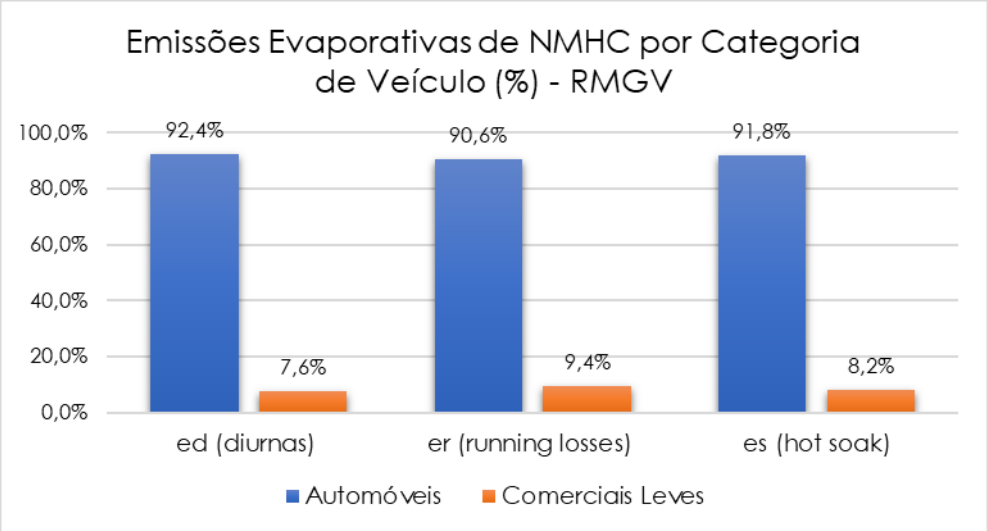
O Gráfico 28 detalha a participação de cada fase no total de emissões evaporativas de NMHC na Região Metropolitana da Grande Vitória. O diagnóstico aponta a fase *hot soak* como a maior fonte de emissão, correspondendo a 63,9% do montante total, enquanto que a fase diurna demostrou o menor impacto no Inventário, com apenas 10,8% das perdas evaporativas do poluente.

Gráfico 28: Percentuais das Fases de Emissão Evaporativas da Região Metropolitana da Grande Vitória.



O Gráfico 29 traz a contribuição percentual das emissões evaporativas de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) para cada categoria de veículo. A análise dos dados confirma a predominância absoluta de automóveis, que respondem por mais de 90% do impacto para todas as fases avaliadas. O segmento de automóveis responde por 91,8% na fase *hot soak*, enquanto que na fase *running losses* a mesma categoria responde por 90,6%. Por outro lado, o segmento de comerciais leves responde por 8,2% na fase *hot soak*, enquanto que na fase *running losses*, a mesma categoria responde por 9,4%.

Gráfico 29: Percentuais de Emissão de Hidrocarbonetos Não-Metano (NMHC) por Categoria em cada Fase Evaporativa.



No que diz respeito à material proveniente do desgaste de pneus, freios e pista, a análise das Tabelas 25 e 26, revela que os segmentos de caminhões lideram as emissões de material particulado em todas as frações granulométricas, seguida de automóveis. Esse impacto predominante do segmento de caminhões ocorre apesar de sua menor participação na frota circulante. Tal comportamento é explicado pelos elevados fatores de emissão associados a essa categoria, pela maior massa bruta veicular e pelos maiores níveis de intensidade de uso, expressos pela maior distância média percorrida ao longo do ano. Embora o segmento de caminhões apresenta o maior impacto por categoria, a subcategoria de automóveis *flex fuel* (Flex gasolina C) é a maior responsável pelas emissões individuais de material particulados em ambas as frações de partículas inventariadas por desgaste de pneus, freios e pista. Isso decorre devido ao tamanho da frota circulante, haja vista ser expressivamente superior ao de caminhões.

Tabela 25: Emissões de Material Particulado (MP) por Desgaste de Pneus e Freios para a Região Metropolitana da Grande Vitória.

Categoria	Combustível	Emissões de Material Particulado (kg/ano)		
		PTS	PM10	PM2,5
Automóveis	Gasolina C	9.421,21	7.143,55	3.830,60
	Etanol	62,11	47,09	25,25
	Flex Gasolina C	81.292,49	61.639,36	33.052,99
	Flex Etanol	15.901,20	12.056,96	6.465,32
	GNV	4.316,40	3.272,87	1.755,02
Comerciais Leves	Gasolina C	2.334,61	1.770,20	949,24
	Etanol	2,88	2,18	1,17
	Flex Gasolina C	8.820,20	6.687,84	3.586,23
	Flex Etanol	1.725,27	1.308,17	701,48
	Diesel	10.653,37	8.077,83	4.331,59
Caminhões S leves	Diesel	1.201,33	907,30	491,45
Caminhões Leves		5.228,73	3.948,97	2.139,03
Caminhões Médios		13.405,92	10.179,53	5.452,09
Caminhões S Pesados		35.804,32	27.187,32	14.561,35
Caminhões Pesados		43.299,42	32.878,58	17.609,54
Ônibus Urbanos	Diesel	15.877,15	12.056,01	6.457,12
Ônibus Rodoviários		5.408,61	4.106,93	2.199,64
Micro Ônibus	Diesel	9.840,57	7.472,25	4.002,08
Motocicletas	Gasolina C	6.066,85	4.678,05	2.485,22
	Flex Gasolina C	4.678,52	3.607,53	1.916,50
	Flex Etanol	915,14	705,65	374,88
Total		276.256,29	209.734,17	112.387,79

Tabela 26: Emissões de Material Particulado por Desgaste da Pista para a Região Metropolitana da Grande Vitória.

Categoria	Combustível	Emissões de Material Particulado (kg/ano)		
		PTS	PM10	PM2,5
Automóveis	Gasolina C	7.764,73	3.882,37	2.122,36
	Etanol Hidratado	51,19	25,59	13,99
	Flex Gasolina C	66.999,30	33.499,65	18.313,14
	Flex Etanol	13.105,39	6.552,69	3.582,14
	GNV	3.557,47	1.778,74	972,38
Comerciais Leves	Gasolina C	1.924,13	962,06	525,93
	Etanol Hidratado	2,37	1,19	0,65
	Flex Gasolina C	7.269,39	3.634,70	1.986,97
	Flex Etanol	1.421,93	710,96	388,66
	Diesel	8.780,25	4.390,12	2.399,93
Caminhões S I	Diesel	630,07	315,03	172,22
Caminhões Le		2.742,34	1.371,17	749,57
Caminhões Me		13.112,61	6.556,31	3.536,95
Caminhões S F		35.020,96	17.510,48	9.446,44
Caminhões Pe		42.352,07	21.176,03	11.423,91
Ônibus Urbano	Diesel	15.529,77	7.764,89	4.188,95
Ônibus Rodovi		5.290,28	2.645,14	1.426,98
Micro Ônibus	Diesel	9.625,27	4.812,63	2.596,29
Motocicletas	Gasolina C	4.385,68	2.192,84	1.169,51
	Flex Gasolina C	3.382,06	1.691,03	901,88
	Flex Etanol	661,55	330,77	176,41
Total		243.608,80	121.804,40	66.095,28

Por meio dos resultados obtidos para o poluente material particulado nas diferentes frações de partículas inventariadas, foi possível estimar o quantitativo das taxas de emissão de PTS, MP_{10} e $MP_{2,5}$ de acordo com sua fonte de emissão, conforme mostrado na Tabela 27.

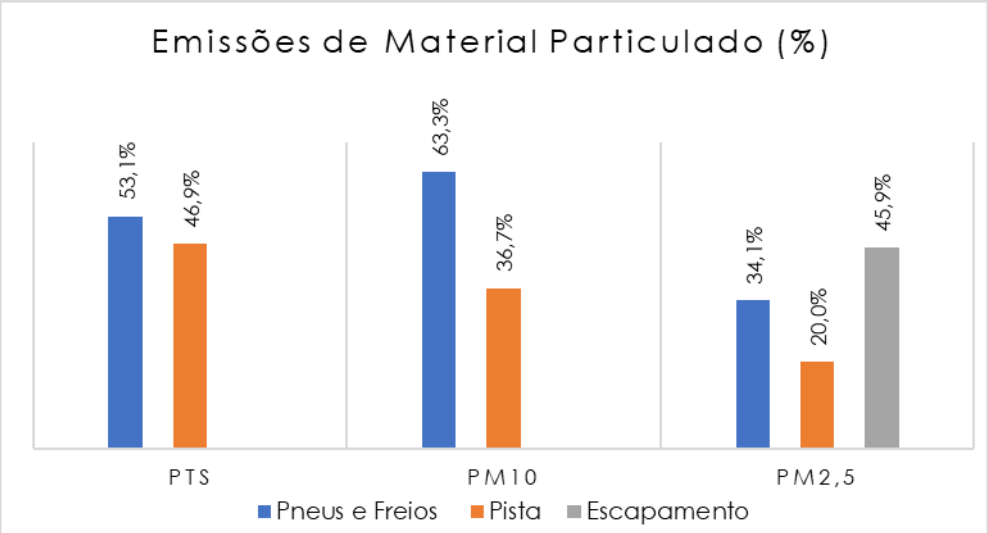
Tabela 27: Estimativa das Emissões Totais de Material Particulado (Kg/ano) na Região Metropolitana da Grande Vitória.

Emissões	PTS	PM10	PM2,5
Pneus e Freios	276.256,29	209.734,17	112.387,79
Pista	243.608,80	121.804,40	66.095,28
Escapamento	ND	ND	151.493,24
Total	519.865,08	331.538,57	329.976,31

ND: Não Disponível

O Gráfico 30 apresenta a distribuição percentual das emissões de material particulado por fonte, estratificado de acordo com o diâmetro de partículas. A análise dos dados evidencia que, para as emissões totais de partículas totais em suspensão (PTS), 53,1% originam-se do degaste de pneus e freios, ao passo, que 46,9% decorrem do desgaste da pista. No que tange ao material particulado com diâmetro de até 10µm, o desgaste de pneus e freios responde por 63,3% das emissões, sendo os 36,7% restantes atribuídos ao desgaste da pista. Por fim, o perfil modifica-se significativamente na fração fina ($MP_{2,5}$). O processo de escapamento veicular (exaustão) desponta como a principal fonte, com 45,9%, seguido pelo desgaste de pneus e frios, com 34,1% e pelo desgaste da pista, com 20%.

Gráfico 30: Percentuais de Emissão de Material Particulado (MP) por Fonte de Emissão na Região Metropolitana da Grande Vitória.



4.2.5.1. Evolução das Emissões na Região Metropolitana da Grande Vitória

Esta seção analisa a evolução temporal das emissões de poluentes atmosféricos provenientes da frota veicular na Região Metropolitana da Grande Vitória, fundamentando-se nos Inventários de Emissões Veiculares dos anos bases 2015, 2023 e 2024. Como o setor rodoviário apresenta-se como uma importante fonte de emissão de poluentes atmosféricos, o propósito é analisar a tendência histórica dessas emissões e mensurar o impacto do setor de transportes na qualidade do ar na Região Metropolitana da Grande Vitória.

Antes de adentrar na apresentação da evolução das taxas de emissões, cabe destacar que os dados referentes ao ano de 2015 foram retirados do Inventário de Fontes de Emissão Atmosférica da Região Metropolitana, elaborado pela Empresa Ecosoft Consultorias e Softwares Ambientais Ltda, tendo adotado valores de intensidade de uso de referência disponibilizado pela companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) que, por sua vez, são característicos para a frota circulante do Estado de São Paulo. Já os inventários de 2023 e 2024 foram desenvolvidos pela equipe Técnica do Iema, tendo optado pela utilização dos valores de intensidade de uso de referência disponibilizado pelo Inventário Nacional de Emissões de Veiculares, referentes aos anos base de 2012 e 2024, respectivamente.

Os Gráficos 31 e 32 ilustra o perfil da evolução das taxas de emissão dos poluentes CO e NOx observado no período de 2015 a 2024 na Região Metropolitana da Grande Vitória. Os dados apresentados demonstram uma tendência de declínio nas taxas de emissão para ambos os poluentes ao longo da série histórica avaliada na Região Metropolitana da Grande Vitória, apesar do registro do leve aumento das emissões de CO observado no presente inventario.

Gráfico 31: Evolução das Emissões de CO na Região Metropolitana da Grande Vitória.

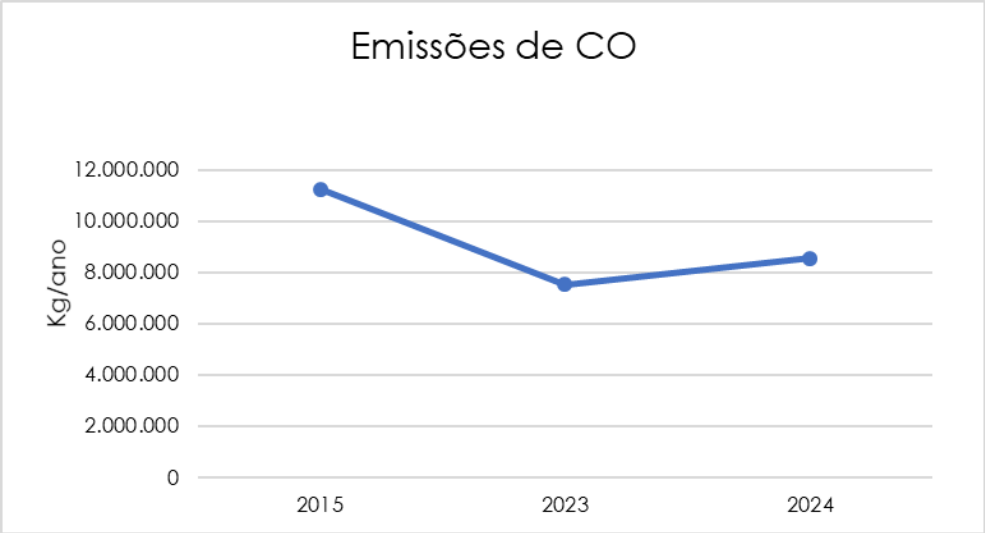
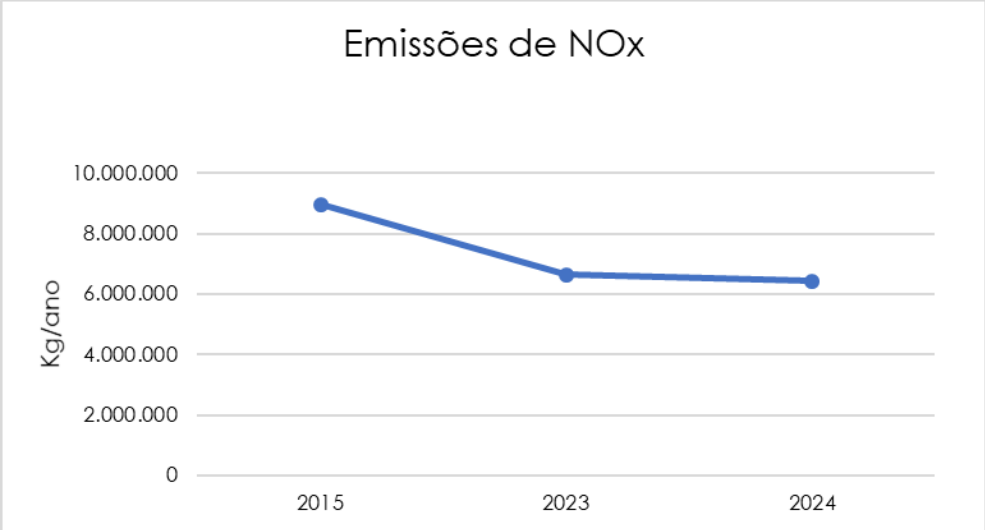


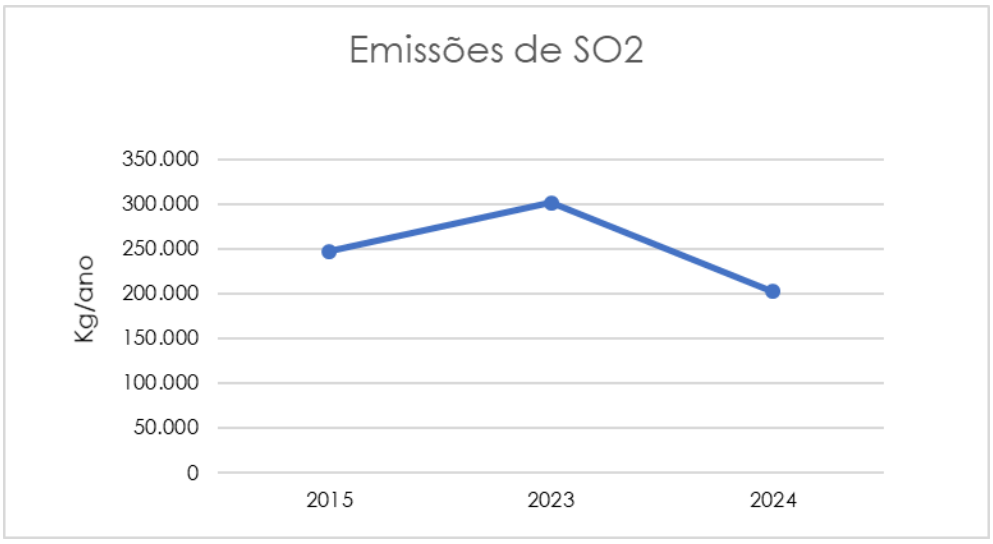
Gráfico 32: Evolução das Emissões de NOx na Região Metropolitana da Grande Vitória.



O Gráfico 33 traz a evolução das taxas de emissões de SO_2 na Região Metropolitana da Grande Vitória. O balanço geral do período avaliado evidencia uma diminuição das emissões do poluente nessa localidade oriundo de veículos automotores. Esse comportamento é atribuído, principalmente, às medidas regulatórias que promoveram a redução do teor de enxofre nos combustíveis comercializados no país, especialmente no diesel e na gasolina C. Adicionalmente, a renovação e a modernização da frota circulante contribuem para a mitigação das emissões de SO_2. Em conjunto, esses fatores

foram capazes de compensar os efeitos decorrentes do aumento do consumo de combustíveis na região, resultado em uma redução líquida das emissões do poluente ao longo do período analisado. Contudo, ressalta-se que ao analisar especificamente o inventário do ano-base de 2023, observa-se um aumento na taxa de emissão desse poluente em relação ao inventário do ano-base de 2015. Esse resultado pode estar associado à metodologia adotada para a estimativa das emissões no inventário de 2023, que difere da metodologia utilizada nos inventários dos anos-base de 2015 e 2024, influenciando assim, os resultados finais para o poluente SO_2.

Gráfico 33: Evolução das Emissões de SO_2 na Região Metropolitana da Grande Vitória.



Os Gráficos 34 e 35 detalham a evolução cronológica das taxas de emissão de material particulado ($MP_{2,5}$), oriundos do processo de exaustão, e de metano (CH_4) na Região Metropolitana da Grande Vitória. A análise dos dados aponta uma tendência de declínio no volume das emissões de ambos os poluentes ao longo da série histórica avaliada, evidenciando a eficácia das medidas de controle e da modernização tecnológica dos veículos automotores.

Gráfico 34: Evolução das Emissões de $MP_{2,5}$ na Região Metropolitana da Grande Vitória.

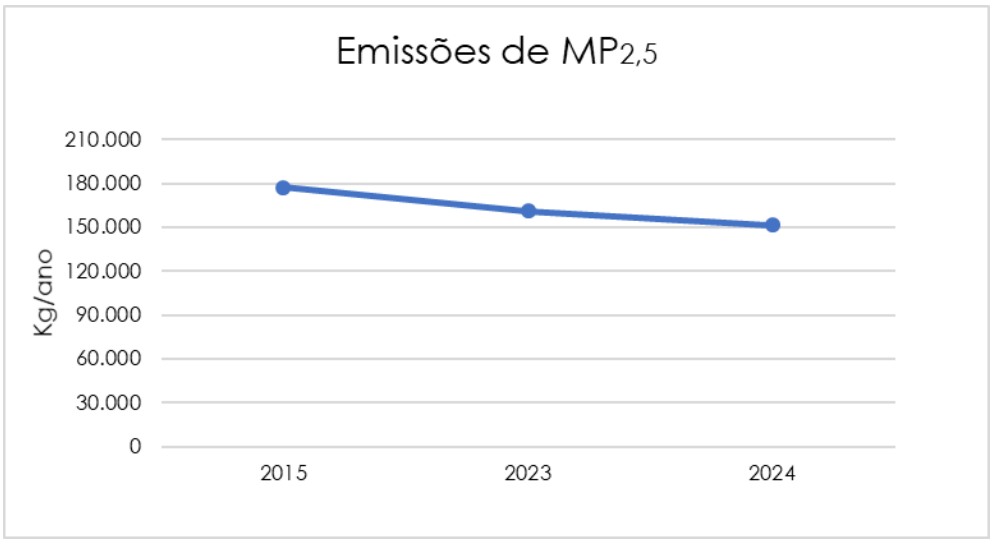
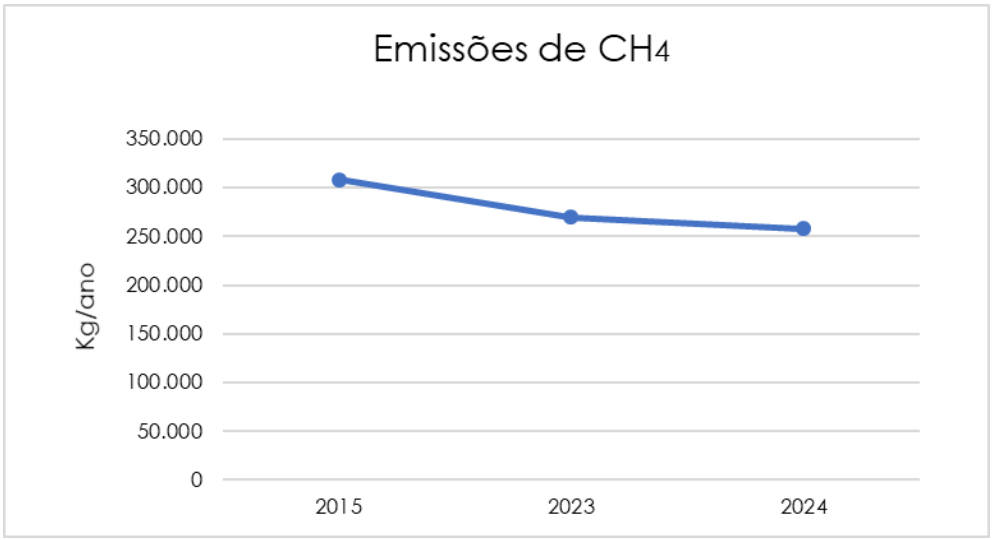


Gráfico 35: Evolução das Emissões de CH_4 na Região Metropolitana da Grande Vitória.



Os Gráficos 36 e 37 ilustram o comportamento das taxas de emissões de NMHC e HCT ao longo do período analisado na Região Metropolitana da Grande Vitória. A análise dos dados aponta um recuo expressivo no volume desses poluentes ao longo da série histórica avaliada. Cabe destacar, que no Inventário referente ao ano base 2023, as emissões do poluente HCT são inferiores à soma das emissões individuais de NMHC e CH_4. Essa divergência é reflexo das limitações da metodologia empregada, sugerindo inconsistências na estimativa do HCT. Assim, os resultados obtidos para o Inventário 2023

podem não representar adequadamente a magnitude real das emissões locais do poluente HCT provenientes da frota de veículos automotores na Região Metropolitana da Grande Vitória.

Gráfico 36: Evolução das Emissões de NMHC na Região Metropolitana da Grande Vitória.

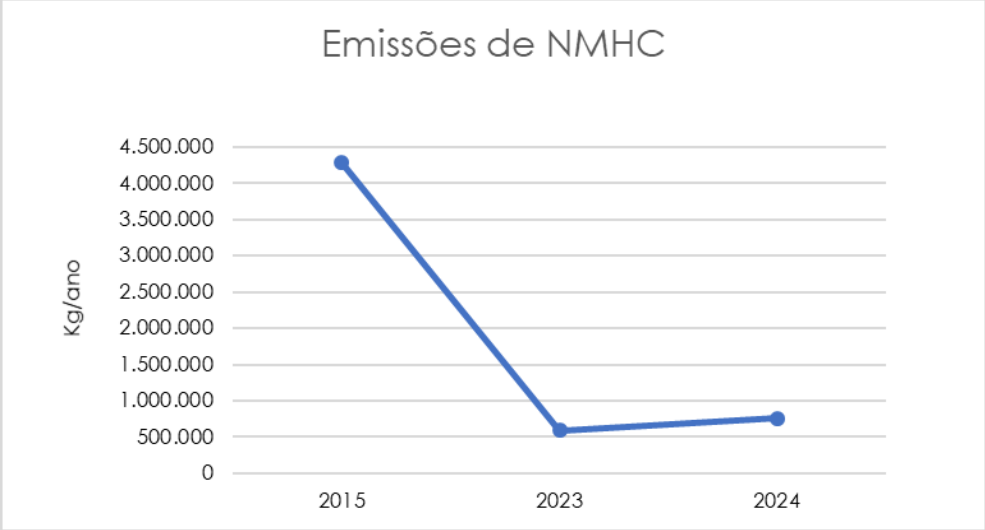
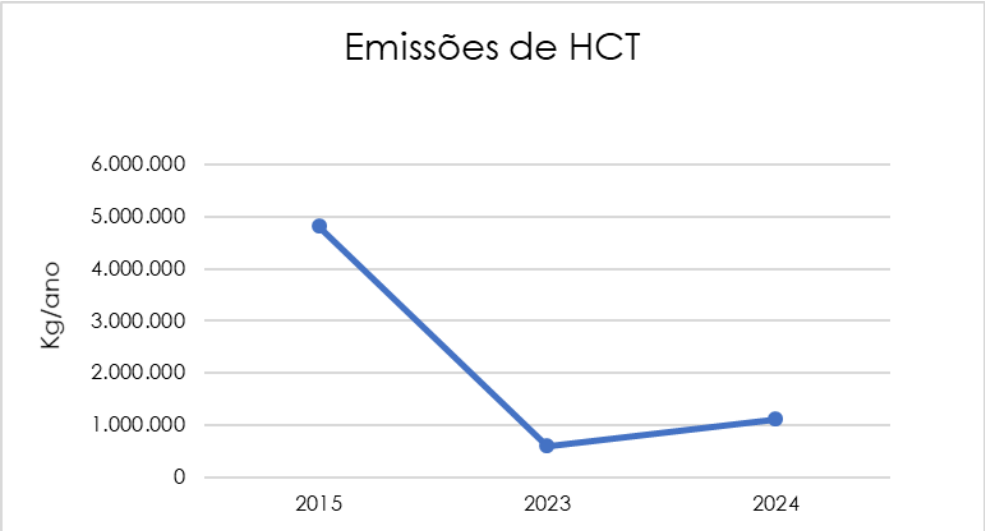


Gráfico 37: Evolução das Emissões de HCT na Região Metropolitana da Grande Vitoria.



Os Gráficos 38 e 39 ilustram a evolução das taxas de emissão de material particulado associadas ao desgaste de pneus, freios e pista, respectivamente, considerando as diferentes frações de partículas inventariadas. Os resultados evidenciam, ao longo da série histórica avaliada, um aumento das emissões de

material particulado para ambos os diâmetros de partículas inventariados, tanto para desgaste de pneus e freios, com também para desgaste da pista.

Gráfico 38: Evolução das Emissões de material particulado oriundos de desgaste de pneus e freios na Região Metropolitana da Grande Vitória.

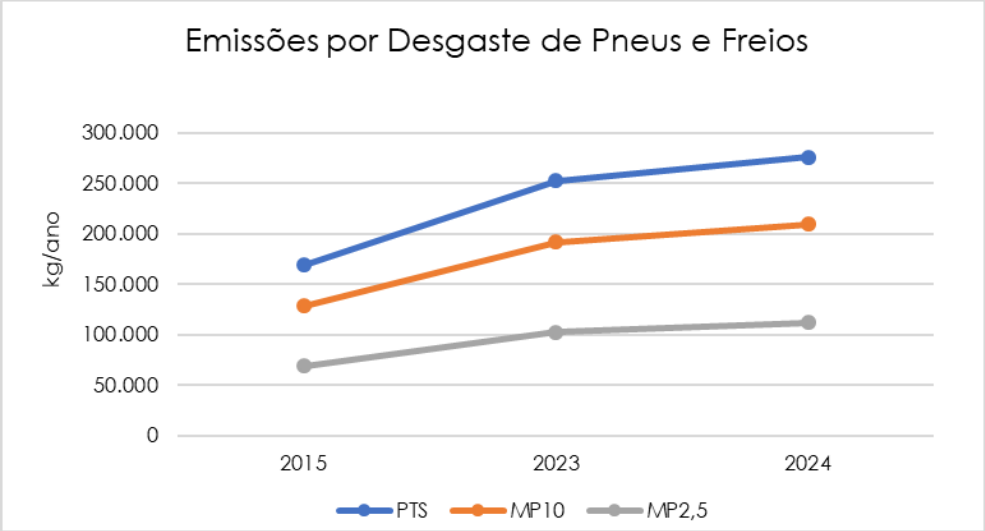
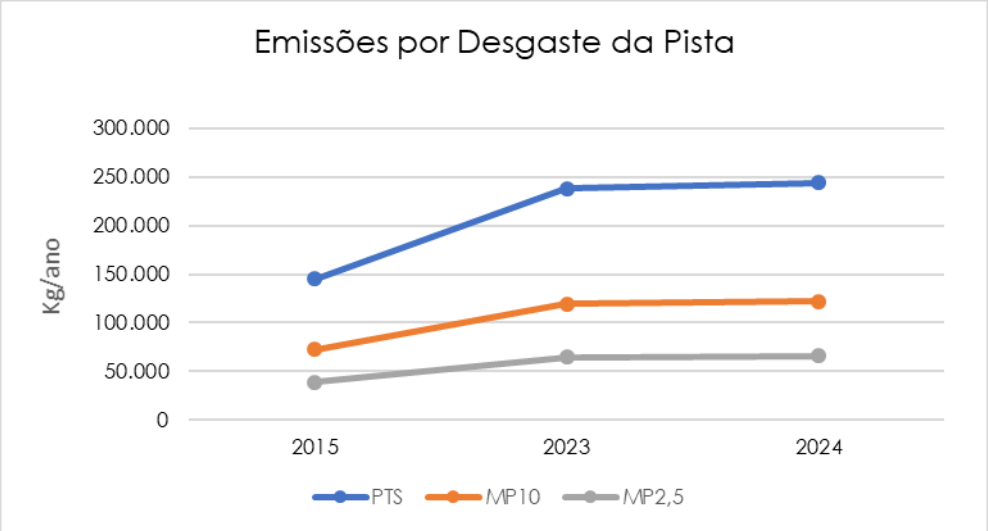


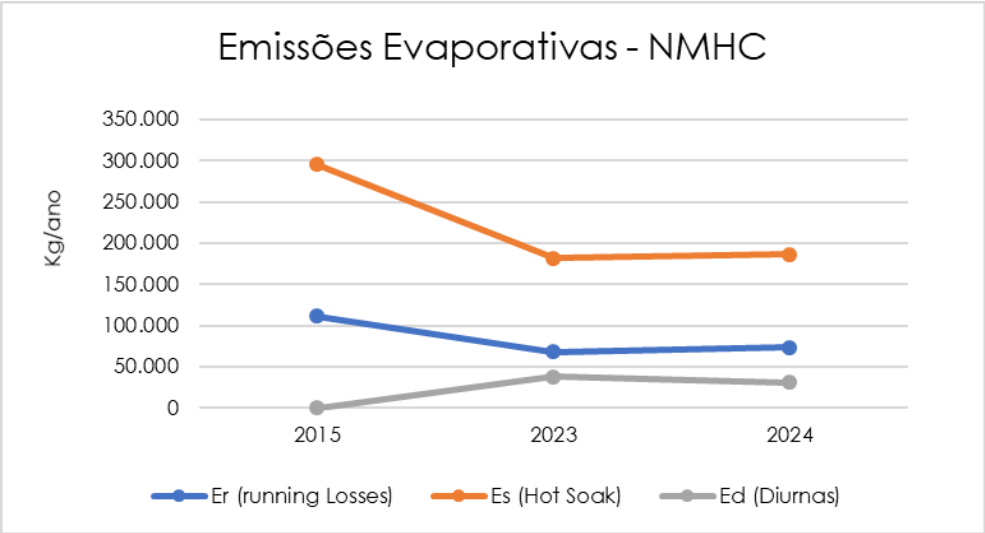
Gráfico 39: Evolução das Emissões de Material Particulado Oriundos do Desgaste da Pista na Região Metropolitana da Grande Vitoria.



O Gráfico 40 apresenta a evolução das emissões evaporativas de NMHC oriundos de veículos automotores do ciclo Otto na Região Metropolitana da Grande Vitória entre 2015 e 2024. Os resultados indicam uma redução das emissões de associadas às fases *running losses* e *hot soak* ao longo de toda a

série histórica avaliada, apesar do leve aumento observado no inventário referente ao ano base 2024.

Gráfico 40: Evolução das Emissões Evaporativas de NMHC por Fase de Emissão na Região Metropolitana da Grande Vitória.



5. CONCLUSÕES

A estimativa das emissões veiculares é fundamental para a avaliação das condições da qualidade do ar, sobretudo em grandes centros urbanos, onde a contribuição de veículos automotores para a carga de poluentes atmosféricos é expressiva. O presente inventário quantifica as emissões veiculares no Estado do Espírito Santo, referente ao ano base 2024, e segmentado por região. Para atingir este objetivo, primeiramente, procedeu-se à estimativa das emissões de poluentes atmosféricos empregando conceitos relacionados à frota circulante, fatores de emissão disponibilizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), além do conceito de Intensidade de uso ou distância média anual percorrida pelos veículos automotores fornecidos pelo Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2024. Também pra o cálculo das emissões, foi necessário estimar a frota circulante do Estado do Espírito Santo, o que também nos permite analisar a evolução da frota circulante da Região Metropolitana da Grande Vitória. Posteriormente, foram estimadas as emissões por escapamento veicular em todo o Estado, como também as emissões de particulados provenientes do desgaste de pneus, freios e pista.

Além de apresentar os resultados gerais para o estado, o presente estudo dedicou-se a um detalhamento especifico à Região Metropolitana da Grande Vitória. Foram estimadas a sua frota circulante, suas respectivas emissões e a evolução dessas emissões ao longo do tempo. Tal abordagem, justifica-se pela representatividade da região Metropolitana da Grande Vitória no cenário Estadual, permitindo uma análise mais precisa para a gestão da qualidade do ar local.

De maneira geral, a frota circulante do Estado do Espírito Santo apresenta um perfil heterogêneo, influenciado tanto pela densidade demográfica dos centros urbanos, como também de complexos industriais e comerciais. Na região Metropolitana da Grande Vitória, os resultados demostram aumento da frota

circulante em relação ao Inventário referente ao ano base 2023. Além disso, evidenciou-se a transição para tecnologias de maior flexibilidade, como a motorização *flex fuel*, acentuada nos veículos leves e motocicletas. Em contrapartida, os veículos pesados do ciclo diesel apresentaram um crescimento menos pronunciado, refletindo um padrão de renovação mais lento.

No que tange às estimativas das emissões veiculares, os poluentes CO e NO_x registraram como os poluentes emitidos por escapamento veicular em maior quantidade absoluta. No caso do SO_2 e material particulado $MP_{2,5}$ proveniente de escapamento veicular, a maior parte é oriunda da categoria de veículos pesados do ciclo diesel, apesar do quantitativo significativamente inferior da frota circulante dessa categoria, comparado à categoria de automóveis.

Para o conjunto de poluentes hidrocarbonetos totais (HCT), hidrocarbonetos não-metano (NMHC) e metano (CH_4), de maneira geral, para o conjunto desses poluentes, as emissões mais significativas foram registradas para a categoria de automóveis. No caso especifico do CH_4, foram registradas emissões significativas do poluente oriundos do segmento de caminhões, quando comparadas às emissões de HCT da mesma categoria.

Ao analisar os índices de emissão de poluentes por escapamento estratificado nas regiões inventariadas do Estado do Espírito Santo, observou-se que as maiores taxas de emissão ocorreram na Região Metropolitana da Grande Vitória. Essa tendência justifica-se pela superioridade numérica da frota circulante existente nessa região, quando comparada com outras áreas, o que contribui diretamente para a estimativa das emissões de gases poluentes. Em seguida, destacam-se as regiões Sul e Central.

No caso das emissões de material particulado (PTS, MP_{10} e $MP_{2,5}$) provenientes de desgaste de pneus, freios e pista, as maiores taxas de emissão foram registradas para as categorias de caminhões, seguida da categoria de automóveis. Analogamente, esse padrão se manteve tanto na Região Metropolitana da Grande Vitória quanto nas demais regiões inventariadas. Adicionalmente, o poluente partículas totais em suspensão (PTS) registrou-se como o poluente mais emitido por processos Não-exaustivos, seguida de MP_{10} e $MP_{2,5}$.

A análise da evolução das emissões na Região Metropolitana da Grande Vitória evidenciou um declínio das taxas de emissão de escapamento para todos os poluentes considerados ao longo do período estudado (2015 a 2024). Por outro lado, as emissões de material particulado provenientes do desgaste de pneus, freios e da superfície da pista apresentaram tendência de crescimento em ambas as classes granulométricas avaliadas. Esse comportamento está associado ao aumento da distância média percorrida pelos veículos, o que intensificou os processos de desgaste e, consequentemente, a geração dessas partículas. Por fim, no caso das emissões evaporativas das fases *running losses* e *hot soak*, estas apresentaram tendência de queda de suas taxas de emissão, enquanto as emissões da fase diurna registraram comportamento oposto, apresentando crescimento ao longo do período global analisado.

Com base nos resultados obtidos, este estudo evidencia a importância da atualização periódica dos inventários de emissões veiculares. Essas atualizações são fundamentais não apenas para quantificar as emissões de poluentes atmosféricos provenientes dos veículos automotores, mas também para subsidiar a formulação, implementação e avaliação de políticas de controle dessas emissões.

O Inventário de Emissões Veiculares (IEV) possibilita o acompanhamento da evolução das emissões ao longo do tempo, permitindo avaliar a efetividade das medidas adotadas pelos gestores públicos. É por meio desses inventários que fica claro que, não somente no Espirito Santo como nacionalmente, por exemplo, as políticas do Programa de Controle de Emissões Veiculares (Proconve) vem surtindo resultados expressivos na redução das emissões dessas fontes ao longo dos anos. Nesse contexto, espera-se que o presente inventário sirva de instrumento de referência para o planejamento e a gestão de políticas públicas relacionadas à qualidade do ar para o Espírito Santo.

6. RECOMENDAÇÕES

Durante a elaboração deste inventário, foram identidades 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.

De acordo com a metodologia consolidada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb), a frota de ônibus é subdividida em categorias de ônibus urbanos e rodoviários, enquanto a frota de caminhões é classificada conforme o Peso Bruto Total (PBT), em caminhões semileves, leves, médios, semipesados e pesados. No entanto, os dados fornecidos pelo Detran | ES para este estudo não apresentam essa subdivisão para a frota de ônibus, nem a classificação por PBT para a categoria de caminhões. Para contornar essa limitação e aplicar a metodologia desenvolvida pela Cetesb, foram utilizados valores percentuais de cada categoria obtidos do Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2024. Dessa forma, foi possível estimar a quantidade total de veículos das categorias de ônibus urbanos e rodoviários, além das categorias de caminhões semileves, leves médios, semipesados e pesados, com base no ano de fabricação. No entanto, é importante destacar que esse procedimento pode gerar incertezas, uma vez que a estimativa pode não refletir com precisão a distribuição real de veículos por categoria no Estado do Espírito Santo. Diante disso, recomenda-se que, para reduzir as incertezas nos cálculos em inventários futuros, o Detran | ES realize a subdivisão detalhada da frota, fornecendo dados que reflitam a quantidade real de veículos em cada categoria.

As curvas de intensidade de uso de referência estão entre as que apresentam maior incerteza. Essas curvas representam a distância percorrida pelos veículos

ao longo de um ano e, para garantir maior precisão, os valores de intensidade de uso de referência, obtidos a partir das curvas de intensidade de referência, devem ser ajustados com base na razão entre o consumo real observado e o consumo estimado de cada combustível, resultando na intensidade de uso ajustada. Esse ajuste visa corrigir a distância percorrida pelo veículo. No entanto, neste inventário, os valores de intensidade de uso de referência empregados foram obtidos a partir do Inventário Nacional de Emissões Veiculares referente ao ano base 2024, o que pode não refletir com exatidão a realidade do Estado do Espírito Santo. Dessa forma, fica claro que é necessário melhorar as informações sobre a distância média anual percorrida pelos veículos, tanto leves quanto pesados.

Adicionalmente, observamos um crescimento acelerado da frota de veículos eletrificados no Estado nos últimos anos. Tais veículos tem por característica não emitir poluentes por escapamento ou por perdas de evaporação de combustível. Todavia, continuam realizando emissões por desgaste de pneus, freio e pista. Para o presente inventário, a frota de veículos eletrificados foi desconsiderada por ser considerada insignificante. Porém, havendo a tendência de crescimento da mesma para os próximos anos, será necessário considera-la nas próximas estimativas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Dados Estatísticos. Vendas de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis - 2024.
Disponível em:< https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>. Acessado em 15 de dezembro de 2025.

Agência 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 suo 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 novembro de 2025.

Agência 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 14 de janeiro de 2026.

Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo (ARSP). Dados Estatísticos sobre Vendas e Comercialização de Gás Natural Veicular na Grande. Vitória. 2026.

Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP). Sistemas de Informações da Mobilidade da Associação Nacional de Transportes Públicos – Relatório Geral 2024, 2026.
Disponível em: <https://files.antp.org.br/simob/simob-2024.pdf>. Acessado em 13 de dezembro de 2025.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb). Relatório de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo. Ano Base 2024.
Disponível em: https://www.cetesb.sp.gov.br/dx/api/dam/v1/collections/d8d03d0c-bee1-42c1-85a0-32e8d55a2216/items/f2a09e71-7812-4001-aa19-ab28956c0543/renditions/a8b8d3eb-bd76-4ff7-8fdb-df93b54f33d9?binary=true. Acessado em 25 de janeiro de 2026.

Corradini, F. **Efeito da Temperatura do Liquido 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 10 de janeiro de 2026.

Departamento Estadual de Trânsito do Espírito Santo (Detran|ES). Disponibilização da Frota Veicular do Estado do Estado do Espírito Santo referente ao ano base 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 22 de fevereiro de 2026.

Instituto de Energia e Meio Ambiente (Iema). **Estudo de Caso: Adiantamento do Cumprimento da Resolução do Conama n°490/2018 – Fase P8 do Proconve, 2020.**
Disponível em: https://energiaeambiente.org.br/wp-ontent/uploads/2020/10/IEMA_estudoproconveadiamento2020.pdf>. Acessado em 23 de fevereiro de 2026.

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-ontent/uploads/2011/01/projeto_iema.pdf>. Acessado em 23 de novembro de 2026.

Instituto de Energia e Meio Ambiente (Iema). **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Ano Base 2024**. Brasil. 2026.
Disponível em:
<https://energiaeambiente.org.br/wpcontent/uploads/2026/03/2025_inventariorodoviarioIEMAMMACCAC.pdf>. Acessado em 15 de março de 2026.

Lei Estadual n° 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 providencias.
Disponível em:
<https://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/LEI120592024.html>. Acessado em 23 de janeiro de 2026.

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 rodoviarios/inventario_de_emissoes_por_veiculos_rodoviarios_2013.pdf>. Acessado em 23 de março 2026.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - SEAMA

Rua Dr. João Carlos de Souza, 107, Barro Vermelho - CEP: 29057-530

Vitória, Espírito Santo

Tel.: (27) 99278-2076

E-mail: gabinete@seama.es.gov.br

www.seama.es.gov.br

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE - IEMA

Rodovia BR 262, Km 0, s/nº, Jardim América - CEP: 29140-130

Cariacica, Espírito Santo

Tel.: (27) 3636-2500

E-mail: atendimento@iema.es.gov.br

www.iema.es.gov.br

GERÊNCIA DE QUALIDADE AMBIENTAL - GQA

Instituto Estadual de Meio Ambiente - IEMA/Prédio 2

Cariacica, Espírito Santo

Tel.: (27) 3636-2590/3636-2546

E-mail: cqai@iema.es.gov.br

www.iema.es.gov.br/qualidadedoar