



ANÁLISE DA EMISSÃO DE FUMAÇA PRETA EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO E
MONTAGEM INDUSTRIAL NO BRASIL

Stefano Damian Burigo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientadores: Alessandra Magrini

Luiz Fernando Loureiro Legey

Rio de Janeiro

Junho de 2016

ANÁLISE DA EMISSÃO DE FUMAÇA PRETA EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO E
MONTAGEM INDUSTRIAL NO BRASIL

Stefano Damian Burigo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

Prof.^a Alessandra Magrini, D.Sc.

Prof. Luiz Fernando Loureiro Legey, Ph.D.

Prof.^a Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.

Eng.^o Tadeu Cavalcante Cordeiro de Melo, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2016

Burigo, Stefano Damian

Análise da emissão de fumaça preta em obras de construção e montagem industrial no Brasil / Stefano Damian Burigo - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

VII, 90 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Alessandra Magrini

Luiz Fernando Loureiro Legey

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/
Programa de Planejamento Energético, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 83-89.

1. Poluição Atmosférica. 2. Emissões Veiculares.
3. Fumaça Preta. I. Magrini, Alessandra *et al.* II.
Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE,
Programa de Planejamento Energético. III. Título.

Agradecimentos

À Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras, em especial, aos meus gerentes Silvio Luiz, Cristiano Duarte e Gilson Campos por me concederem a oportunidade de continuar minha jornada acadêmica, através da realização deste mestrado. E por entenderem a importância da qualificação e capacitação do corpo técnico para a empresa.

À minha noiva e futura esposa, Kelly, por todo seu companheirismo e paciência ao longo dessa jornada, por me incentivar e apoiar a voltar aos estudos e por ser um exemplo de dedicação à área acadêmica e de pesquisa.

À minha família, Augusto, Beatriz, Mariana e Hedi, fundamentais em todas etapas da minha vida, por estarem ao meu lado nas minhas principais vitórias e me incentivarem a continuar nos momentos mais difíceis.

Aos meus orientadores, Professores Alessandra Magrini e Luiz Fernando Loureiro Legey, que até à distância cumpriram com louvor seus papéis de me conduzir na elaboração dessa dissertação.

Aos meus colegas de trabalho, em especial, Larissa Akemi e Olivia Nunes, por todo incentivo e apoio ao longo desses anos de convivência.

Ao Nilson Quadros e todos os envolvidos, direta e indiretamente, na concepção e realização do Programa EngenhAR.

Aos amigos de longa data e aos amigos que fiz no Programa de Planejamento Energético.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DA EMISSÃO DE FUMAÇA PRETA EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO E MONTAGEM INDUSTRIAL NO BRASIL

Stefano Damian Burigo

Junho/2016

Orientadores: Alessandra Magrini

Luiz Fernando Loureiro Legey

Programa: Planejamento Energético

Esta dissertação apresenta um estudo de caso da avaliação das medições da opacidade da fumaça em obras de construção e montagem industrial no Brasil, sendo dividido em duas etapas. Na primeira delas, é apresentada uma análise das medições do Programa EngenhAR, relatando as classificações das medições realizadas, de acordo com o Estado onde a medição foi realizada, por idade do veículo ou máquina, por fabricante, entre outros, além do método utilizado e os resultados obtidos. Na segunda etapa, é realizada uma análise dos parâmetros de fumaça preta estabelecidos na Resolução CONAMA 418/2009 frente aos valores definidos pelos fabricantes (Valor de Porta) e legislações internacionais. Os resultados apontam que a opacidade da fumaça em veículos (média e mediana) é inferior àquelas verificadas nas máquinas. A variabilidade dos valores das opacidades da fumaça medidas foi de 0,00 a 9,99 m^{-1} . O coeficiente de determinação (R^2) entre a idade e a opacidade dos veículos e máquinas mostrou-se fraco (abaixo de 0,16). Os percentuais de medições de opacidade reprovadas para os limites da Resolução CONAMA 418/2009, dos valores de porta, da legislação do estado da Califórnia (EUA) e Reino Unido foram 15%, 27%, 26% e 15%, respectivamente.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ANALYSIS OF BLACK SMOKE EMISSION IN INDUSTRY CONSTRUCTION IN
BRAZIL

Stefano Damian Burigo

June/2016

Advisors: Alessandra Magrini

Luiz Fernando Loureiro Legey

Department: Energy Planning

This dissertation presents a case study for a two-step evaluation of smoke opacity measurements in construction and industrial assembly in Brazil. The first presents the analysis of the measurements EngenhAR program, describing the classification of measurements performed according to the state where the measurement was performed, by age of machines or equipment, the manufacturer, etc., besides the method and results obtained. The second step is an analysis of black smoke parameters established by the Brazilian legislation (CONAMA 418/2009) as compared to values set by manufacturers (Door value) and international laws. The results show that the smoke opacity in vehicles (mean and median) is lower than those observed in machines. The variability of measured values of the measured smoke opacities was 0.00 to 9.99 m^{-1} . The determination coefficient (R^2) between age and the opacity of vehicles and machinery showed weak (under 0,16). The percentage of reprovved opacity measurements to the limits of CONAMA Resolution 418/2009, the door value, the state laws of California (USA) and the UK were 15%, 27%, 26% and 15%, respectively.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Poluição Veicular	5
2.1 A frota brasileira e a poluição veicular	5
2.2 Material Particulado.....	9
3. Iniciativas de controle da poluição proveniente de veículos pesados no Brasil.....	20
3.1 Legislação e normas.....	20
3.2 Programa CONPET	27
3.2.1 Projeto TransportAR e EconomizAR.....	28
3.2.2 Programa EngenhAR	29
4. Avaliação das medições de opacidade da fumaça em obras de construção e montagem industrial – Um estudo de caso.....	34
4.1 Análise das medições do Programa EngenhAR.....	38
4.1.1 Método EngenhAR.....	38
4.1.2 Resultados do Programa EngenhAR.....	40
4.1.3 Discussão dos resultados das medições de fumaça do Programa EngenhAR	59
4.2 Análise dos parâmetros de fumaça preta estabelecidos na legislação	61
4.2.1 Análise das medições baseada nos parâmetros da Resolução CONAMA 418/2009.....	62
4.2.2 Análise das medições baseada nos valores de porta dos veículos.....	63
4.2.3 Análise das medições baseada na legislação da Califórnia (EUA).....	65
4.2.4 Análise das medições baseada nos padrões do Reino Unido	67
4.2.5 Discussão dos resultados das análises de fumaça preta frente a legislação ...	68
5. Conclusões e Recomendações.....	78
6. Bibliografia.....	83
7. Anexo	90

1. Introdução

Anualmente, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2015), cerca de 8 milhões de pessoas morrem em virtude da poluição atmosférica. Para reverter esse quadro, a OMS atribui papel fundamental às autoridades nacionais de saúde, que podem salvar vidas e reduzir custos com saúde, se a questão poluição atmosférica for tratada com eficiência.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015), poluição atmosférica pode ser definida como:

“Qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, concentração, tempo ou características que possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e à qualidade de vida da comunidade”.

A atmosfera terrestre é composta de diversos gases como nitrogênio (78,11%), oxigênio (20,95%), argônio (0,93%), gás carbônico (0,33%), além de percentagens menores de neônio, hélio, criptônio, xenônio, hidrogênio, metano, ozônio, dióxido de nitrogênio, entre outros. Além destes gases, é relevante destacar a presença de vapor d'água e material particulado orgânico (pólen e microorganismos) e inorgânico (partículas de areia e fuligem) (BRAGA et al, 2005).

A existência da atmosfera terrestre e seus constituintes é de extrema importância para a manutenção da vida na Terra. Contudo, em virtude da emissão de poluentes pela ação antrópica, muitos desses constituintes naturais da atmosfera, em concentrações anormais, passam a exercer efeitos nocivos à biodiversidade. O gás carbônico (CO₂), por exemplo, é um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa, capaz de aumentar o aprisionamento da energia que é refletida pela terra, causando o aumento da temperatura, denominado como aquecimento global, tema amplamente discutido no mundo.

Outro constituinte natural da atmosfera é o material particulado. Uma das suas principais funções está relacionada ao ciclo hidrológico, uma vez que as partículas sólidas em suspensão têm a capacidade de formar núcleos de condensação, fenômeno chamado

de coalescência, o qual propiciará a formação de nuvens e conseqüentemente a precipitação.

Por outro lado, vários estudos, como por exemplo Habermann, Medeiros e Gouveia (2011) e Toledo e Nardocci (2010), têm apresentado uma relação entre material particulado — incluído aqueles provenientes das emissões veiculares — e problemas de saúde e até mesmo óbitos, principalmente nos grandes centros urbanos. Buscando minimizar as conseqüências desse aspecto ambiental, as legislações mundiais e, conseqüentemente, a brasileira, tem se tornado cada vez mais restritiva nas últimas décadas. Tais restrições impulsionaram a indústria automobilística a desenvolver motores menos poluentes e mais eficientes.

No Brasil, a Resolução CONAMA 418/2009 é uma das principais ferramentas legais no âmbito da regulamentação das emissões de veículos em uso. Além de estabelecer critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos ambientais competentes, a referida resolução determina os limites de emissão e os procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso. Dentre os limites de emissão, destacam-se aqueles vinculados à opacidade da fumaça emitida por veículos do Ciclo Diesel.

O objetivo desta dissertação é avaliar a emissão de fumaça preta em veículos (caminhão, ônibus, van, caminhonete e ambulância) e máquinas (retroescavadeira, escavadeira, plataforma elevatória, rolo compactador, guindaste, pá carregadeira, motoniveladora, empilhadeira, trator agrícola, trator e outros) do Ciclo Diesel em obras de construção e montagem industrial no Brasil, coletadas ao longo do Programa de Educação Ambiental da Engenharia da Petrobras – EngenhAR. Através dessa avaliação, buscar-se-á verificar o desempenho dos veículos e máquinas frente a emissão de fumaça preta, estratificando essas informações por macrorregião do país, estados, fabricante, idade, entre outros. Será também analisada a correlação entre a emissão de fumaça preta e a idade dos veículos e máquinas aferidos. Além disso, será realizada uma discussão dos limites de opacidade da fumaça estabelecidos na Resolução CONAMA 418/2009 frente aos limites homologados e certificados pelos fabricantes (valor de porta), pela legislação do estado da Califórnia (EUA) e do Reino Unido.

A coleta dos dados de fumaça preta de veículos e máquinas se deu ao longo de 44 campanhas do Programa EngenhAR em 28 unidades de implementação de empreendimentos da Petrobras situadas em 12 estados do País. A amostragem da fumaça preta baseou-se na metodologia da ABNT NBR 13037 (2001) - Veículos rodoviários automotores - Gás de escapamento emitido por motor diesel em aceleração livre - Determinação da opacidade, sendo utilizado o equipamento Opacímetro Digital da marca Napro Eletrônica Ind. LTDA, modelo NA-9000E.

A dissertação está estruturada em quatro capítulos, além dessa introdução (Capítulo 1). No Capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica sobre a poluição veicular, em especial sobre a frota brasileira e a poluição veicular, sendo apresentados dados de emissões veiculares provenientes do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários e do Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo. Além disso, esse capítulo aborda o poluente material particulado (MP), apresentando suas classificações, características, propriedades físicas e químicas, métodos e instrumentos de medição, e requisitos internacionais de controle de emissões de material particulado veicular.

A questão das iniciativas de controle da poluição veicular no Brasil é abordada no Capítulo 3. São apresentados os principais instrumentos legais e normativos nacionais para controle da emissão veicular. No decorrer do capítulo, é descrita a metodologia utilizada para realizar as medições da opacidade da fumaça utilizada no Programa EngenhAR, conforme estabelecido na ABNT NBR 13037 (2001). É realizada também uma breve descrição do Programa CONPET e seus Projetos EconomizAR e TransportAR, bem como do Programa EngenhAR. Este último, alvo do atual estudo, foi desenvolvido em diversas obras de construção e montagem industrial da Petrobras no Brasil como refinarias, oleodutos, estaleiros, térmicas, entre outros.

No Capítulo 4 é apresentado o estudo de caso da avaliação das medições da opacidade da fumaça em obras de construção e montagem industrial, sendo dividido em duas etapas. A primeira delas, apresenta a análise das medições do Programa EngenhAR, relatando as classificações (ótimo, bom, ruim e muito ruim) das medições realizadas, de acordo com o Estado onde a medição foi realizada, por idade da máquina ou equipamento, por fabricante, entre outros, além do método utilizado e os resultados obtidos. Já na segunda etapa, é feita uma análise dos parâmetros de fumaça preta estabelecidos na legislação brasileira (Resolução CONAMA 418/2009) frente aos valores definidos pelos

fabricantes (Valor de Porta) e as legislações do estado da Califórnia (EUA) e Reino Unido. Também são apresentados resultados de relatórios de medição de fumaça preta de órgãos estaduais e de programas similares ao EngenhAR.

Por fim, o Capítulo 5 expõe os principais resultados e conclusões desse estudo, bem como propostas para trabalhos futuros e recomendações.

2. Poluição Veicular

A poluição veicular, em especial nos grandes centros urbanos, é um dos principais problemas ambientais que os governantes e a população vêm enfrentando ao longo das últimas décadas.

Além de causarem problemas de saúde, os poluentes veiculares estão também relacionados às questões como mudança do clima, chuva ácida, redução da visibilidade, degradação de monumentos históricos, entre outros.

De modo geral, quando comparado às principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos, os veículos do ciclo Otto, movidos à gasolina, estão fortemente relacionados à emissão de CO e HC (hidrocarbonetos). Já os veículos do ciclo Diesel, movidos à Diesel, são responsáveis pela maior parte da emissão do material particulado e NO_x (CETESB, 2016).

No caso dos veículos pesados movidos à Diesel, na maioria dos países, esses representam, em média, menos de 5% do total de veículos em circulação no mundo. Contudo, emitem de 40 a 60% das emissões de NO_x e material particulado e em torno de 70 a 90% das emissões de *black carbon* (ICCT, 2015).

A seguir, essas questões serão melhor discutidas e aprofundadas.

2.1 A frota brasileira e a poluição veicular

No Brasil, nos últimos anos, o crescimento econômico trouxe como uma das suas consequências um aumento considerável da frota de veículos. Dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2015) mostram que a venda de autoveículos nos últimos 10 anos cresceu mais de 100%, com destaque para os veículos *Flex Fuel*, que tiveram um aumento de 262% em virtude da crescente demanda de automóveis e pela substituição dos veículos movidos à gasolina e etanol. Ressalta-se também o aumento na venda de veículos movidos à Diesel, que tiveram um crescimento de 115% no mesmo período, passando de 173 mil para 372 mil unidades. A Figura 1 apresenta a venda de autoveículos por combustível no Brasil nos últimos 10 anos.

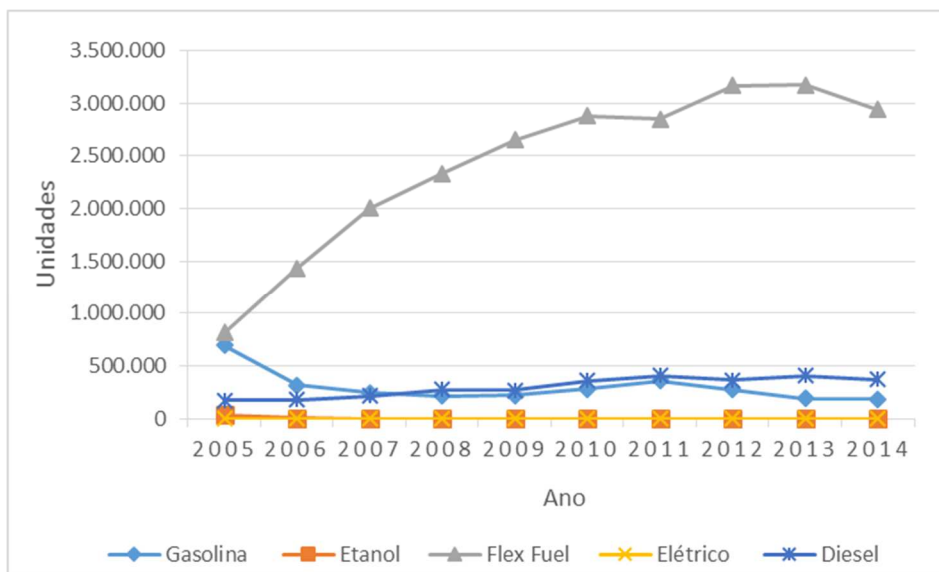


Figura 1 – Venda de autoveículos no Brasil por combustível

Fonte: Adaptado de Anfavea (2015)

De acordo com dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2015), em setembro de 2015, a frota de veículos brasileira totalizava em torno de 89.710.000 unidades, sendo composta principalmente por automóveis (55%), motocicletas (22%), caminhonetes (7%), motonetas (4%), caminhões (3%), reboques (1%), entre outros (4%), como pode ser verificado na Figura 2.

De acordo com o Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo – 2015 elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2016), na região metropolitana de São Paulo, os veículos leves e pesados são uma das principais fontes de poluição atmosférica, sendo responsáveis por 77,0% das emissões de CO, 68,0% de HC, 66,1% de NO_x, 19,9% de SO_x e 38,1% de material particulado inalável (MP₁₀) (Figura 3).

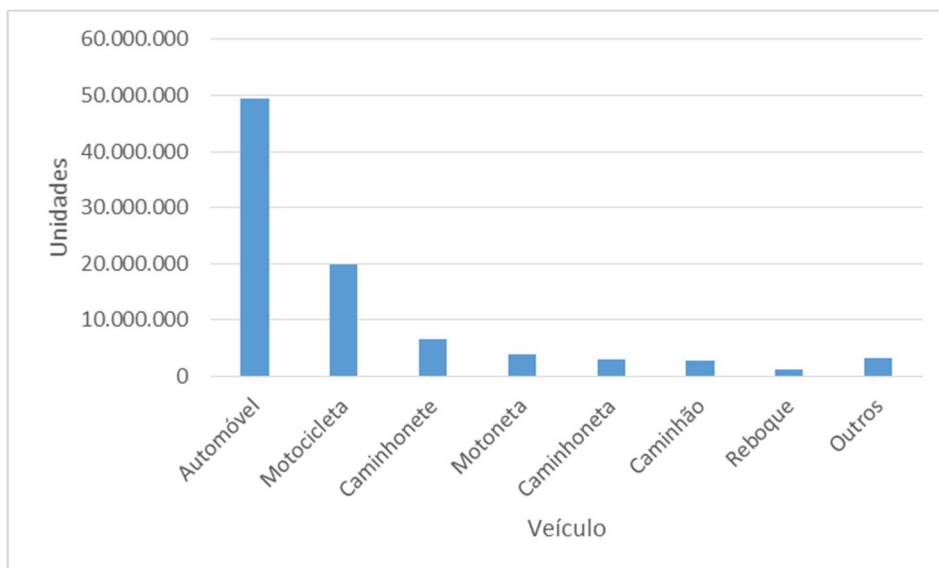


Figura 2 – Frota de veículos no Brasil em 2015

Fonte: Adaptado de Denatran (2015)

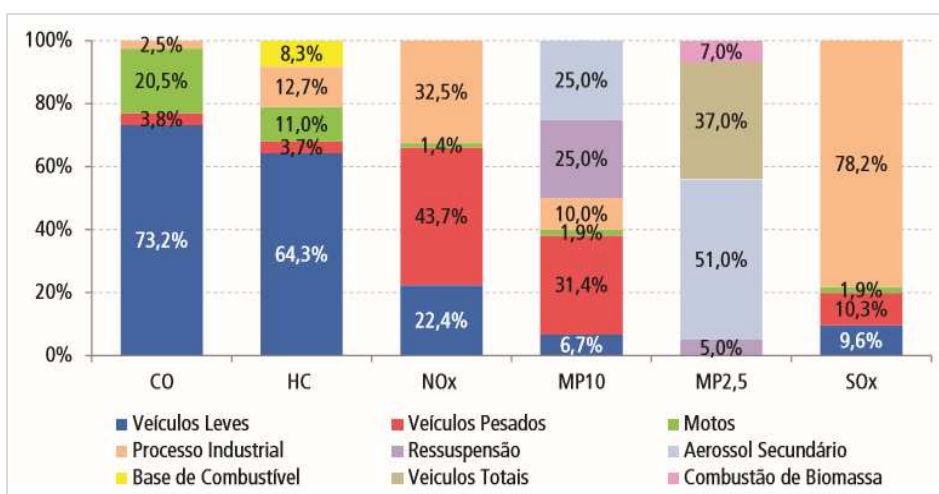


Figura 3 - Emissões relativas por tipo de fonte na Região Metropolitana de São Paulo

Fonte: CETESB (2016)

Para analisar as emissões atmosféricas dos poluentes de origem veicular no Brasil, o Ministério do Meio Ambiente elaborou o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. O inventário de 2013 (MMA, 2014) traz estimativas das emissões de 1980 a 2012 dos poluentes regulamentados pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) como

monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos não-metano (NMHC), aldeídos (RCHO), material particulado (MP) - além dos gases de efeito estufa - dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Em 2012, dentre os poluentes abordados no inventário nacional, o MP de combustão teve como principal fonte de emissão os veículos a Diesel, responsáveis por 96% do total. É possível verificar, através da Figura 4, que a emissão de MP vem reduzindo significativamente nos últimos anos, mesmo com o aumento da frota de veículos pesados e leves no Brasil. Em 2000, foram emitidas cerca de 78 mil toneladas de MP de combustão, sendo que, em 2012, esse valor foi reduzido a menos da metade. Contudo, atualmente, o nível de emissão é muito similar àquele do início da década de 80, havendo a necessidade de redução da emissão de MP para níveis mais sustentáveis a partir de esforços do setor público e privado, estudos e investimentos (Figura 4).

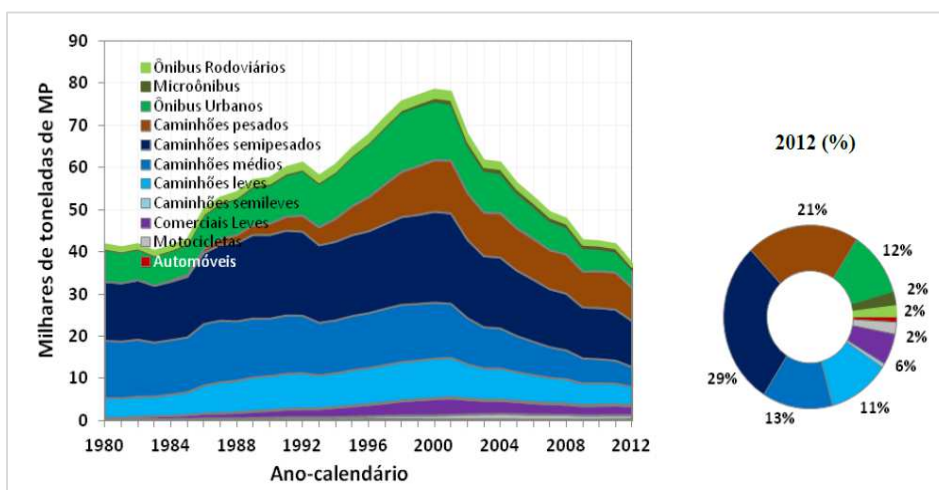


Figura 4 - Emissões de MP por combustão por categoria de veículos

Fonte: MMA, 2014

Ratificando a necessidade da redução dos poluentes atmosféricos, diversos estudos vêm sendo realizados para entender os reais efeitos das emissões atmosféricas veiculares sobre a saúde humana. Toledo e Nardocci (2010) realizaram um levantamento bibliográfico onde identificaram 122 estudos relacionados às emissões veiculares e seus efeitos na saúde da população do município de São Paulo. Já Habermann, Medeiros e Gouveia (2011), em um estudo mais abrangente, identificaram, entre 2000 e 2009, 513 artigos relacionados à saúde e poluição veicular.

Ariotti (2010) aponta como fatores determinantes do nível de emissões veiculares as características da frota, como ano, modelo e categoria veicular, a regulagem e manutenção, tipo e composição do combustível, sistema de tráfego local e traçado da via, condições climáticas, modo de condução, modo de operação do veículo e altitude em relação ao nível do mar.

2.2 Material Particulado

Existem diversos fatores que atuam diretamente na qualidade do ar, dos quais destacam-se a magnitude das emissões, a topografia e as condições meteorológicas da região, favoráveis ou não à dispersão dos poluentes (MMA, 2015).

No Brasil, a Resolução CONAMA 03/1990 estabelece os padrões primários e secundários de qualidade do ar para dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio, além de fumaça, partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, sendo esses três últimos, poluentes diretamente relacionados ao material particulado. Cabe ressaltar que os padrões primários de qualidade do ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Já os padrões secundários de qualidade do ar, definem-se como as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população e ao meio ambiente. A maioria dos poluentes regulados pela resolução em questão, estão diretamente ligados às emissões dos veículos pesados.

O material particulado, como mencionado anteriormente, é um dos componentes naturais da atmosfera terrestre. Podemos elencar como exemplos de fenômenos da natureza responsáveis pela liberação de material particulado para a atmosfera as erupções vulcânicas e os ventos, através da dispersão dos pólenes, suspensão de areia e poeira.

A ação antrópica também é responsável por parcela do material particulado em suspensão. As principais atividades geradoras de material particulado são os processos industriais, queima de biomassa, veículos automotores, obras, tráfego em vias não pavimentadas.

Segundo a Cetesb (2015b), poeira, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera em virtude de suas pequenas dimensões são

enquadrados entre os poluentes denominados de material particulado. Ainda, de acordo com sua dimensão, o material particulado pode ser classificado como:

- Partículas Totais em Suspensão (PTS): são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50 μm , sendo compostas de partículas inaláveis, prejudiciais à saúde, e partículas não inaláveis, que afetam qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade.
- Partículas Inaláveis (MP_{10}): são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10 μm . Dependendo da distribuição de tamanho na faixa de 0 a 10 μm , podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares.
- Partículas Inaláveis Finas ($\text{MP}_{2,5}$): podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 2,5 μm . Devido ao seu tamanho diminuto, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares.
- Fumaça (FMC): sua geração está atrelada aos processos de combustão. O método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera.

A ABNT NBR 12897 (1993) define fumaça preta como:

“Partículas compostas, em sua grande parte, de carbono e com tamanho normalmente menor que 1 μm , resultante do processo de combustão do motor”.

A Tabela 1 traz um resumo das características das partículas finas e grossas (origem, formação, composição, fontes, tempo de permanência na atmosfera, processos de remoção e distâncias percorridas).

A título de ilustração, a Figura 5 apresenta uma comparação entre as dimensões do $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} , cabelo humano e um grão de areia da praia.

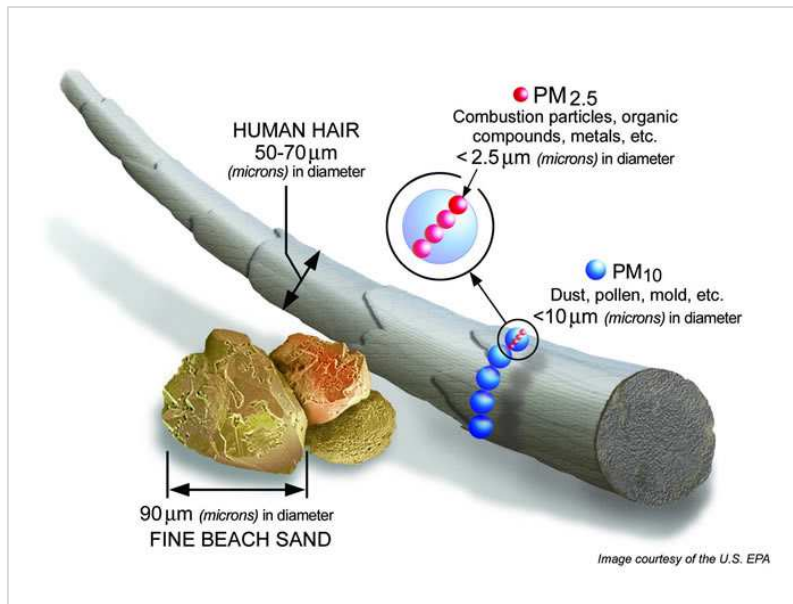


Figura 5 – Comparação entre as dimensões do MP_{2,5}, MP₁₀, cabelo humano e grão de areia da praia

Fonte: USEPA (2015)

Tabela 1 – Resumo de características das partículas finas e grossas

	Partículas Finas		Partículas Grossas
Dimensão	<0,1µm (Ultrafinas)	0,1 - 2,5 µm (Finas)	2,5 –10 µm
Origem	Combustão, processos sob temperaturas elevadas e reações atmosféricas		Quebra de sólidos
Formação	Nucleação Condensação Coagulação	Condensação, coagulação, evaporação de gotas de névoa contendo gases dissolvidos e reagidos	Atrito mecânico (moagens, tratamento de superfície por abrasivos), evaporação de “sprays”, suspensão de poeira.
Composição	Sulfatos, carbono elementar, compostos de metais, compostos orgânicos com baixa pressão de vapor.	Íons de sulfato, nitrato, amônio, carbono elementar, compostos orgânicos, metais (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe etc.)	Nitratos, cloretos, sulfatos de reações de HNO ₃ /HCl/SO ₂ com partículas grossas. Óxidos de elementos da crosta terrestre (Si, Al, Ti, Fe) Sais de CaCO ₃ , NaCl, sal marinho. Pólen, esporos de fungos, fragmentos de plantas e animais, desgaste de pneus, pavimentos
Fontes	Combustão, Transformação de SO ₂ e alguns compostos orgânicos, processos com temperaturas elevadas	Combustão de carvão, óleo, gasolina, diesel e madeira, produtos de transformação atmosférica do NO _x , SO ₂ . Processos sob temperaturas elevadas.	Re-suspensão de poeira industrial e de solo depositado. Suspensão de solo de atividades de mineração e agrícolas. Construção e demolição. Combustão de óleo e carvão. Aerossol marinho Fontes biológicas
Permanência na Atmosfera	Minutos a horas	Dias a semanas	Minutos a horas
Processos de Remoção	Crescimentos dentro do modo acumulação. Difusão em direção a gotas de chuva	Formação de gotas de chuva em nuvens e precipitação Deposição seca	Deposição seca. Remoção por precipitação de gotas de chuva.
Distâncias Percorridas	Até dezenas de km	Centenas a milhares de km	Até dezenas de km. Centenas a milhares de km em tempestades de areia

Fonte: Adaptado de Wilson, Suh (1997); USEPA (2004); Hoinaski (2010)

Andrade et al (2012) realizaram estudo para avaliar a relação entre as emissões veiculares e $MP_{2,5}$ em seis capitais brasileiras (São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife, Porto Alegre e Curitiba). Os resultados apontaram que pelo menos 40% da massa de $MP_{2,5}$ eram provenientes de emissões veiculares, principalmente, dos motores a Diesel.

Em virtude das consequências no meio ambiente e na saúde humana, o material particulado emitido pelos veículos vem sendo amplamente estudado nas últimas décadas. Este fato culminou em grandes alterações nas regulamentações em todo mundo sobre o tema, principalmente no que diz respeito a padrões mais restritivos e a adoção de nova métricas. Buscando aprimorar o conhecimento sobre a formação, os componentes, as dimensões, suas concentrações, entre outras características do material particulado, bem como, a necessidade de maior precisão e rapidez nas avaliações, diversas técnicas foram desenvolvidas. Para compreender a complexa cadeia de formação dos gases de exaustão, tanto em condições controladas (laboratório), quanto em condições ambientais, há uma ampla gama de metodologias disponíveis. Giechaskiel et al (2014) realizaram revisão bibliográfica elencando as técnicas existentes para coletar e medir os particulados das emissões veiculares (Tabela 2).

Tabela 2 - Métodos e instrumentos de medição MP da exaustão de motor.

Princípio	Nome	Propriedade	Informação em tempo real	Informação de tamanho
<i>Método Gravimétrico</i>				
	Pesagem de filtro	Massa	Não	Não
<i>Análise de grupo químico</i>				
	Dissolução	Soxhlet extraction	Material Particulado	Não
	Evaporação Térmica	Térmico/Óptico	Material Particulado	Não
		Análise Termo-Gravimétrica	Material Particulado	Não
	Espectrometria de massa	Espectrômetro de massa de aerossóis	Massa	~Sim
<i>Métodos Ópticos</i>				
Scattering		Scattering photometer	Massa (fumaça)	Sim
		Optical Particle Counter	Número	Sim
		Condensation Particle Counter	Número	Sim
Absorção		Spotmeter (reflexão)	Filter smoke number	Não
		Aethalometer	Massa (Black Carbon)	~Sim
		Photoacoustic Soot Sensor	Massa (Black Carbon)	Sim
		Laser-Induced Incandescence	Massa (Black Carbon)	Sim
Extinção		Medidor de Opacidade	Opacímetro	Sim
<i>Métodos de Microbalança</i>				
Microbalança		Tapered Element Oscillation Microbalance	Massa	Sim, cumulativo
		Quartz Crystal Microbalance	Massa	Sim, cumulativo
<i>Métodos Baseados em Carga Elétrica</i>				
Electrical corona		Diffusion charger	Superfície	Sim
Luz Ultravioleta		Sensor fotoelétrico	Superfície	Sim
<i>Métodos de distribuição de tamanho</i>				
Microscópico		Microscopia	Número, Superfície	Não
Impactação		Impactor	Massa	Não
Difusão		Bateria de Difusão	Número	Sim
Carregamento		Differential Mobility Analyzer	Número	Não
Carregamento+classificação +contagem		Scanning Mobility Particle Sizer	Número	Não
		Centrifugal Particle Mass Analyzer	Massa	Não
		Differential Mobility Spectrometer, Engine Exhaust Particle Sizer	Número	Sim
		Fast Integrated Mobility Spectrometer	Número	Sim
		Electrical Low Pressure Impactor, Dekati	Número, Massa	Sim
		Mass Monitor	Número, Massa	Sim
		Electrical Diffusion Battery	Número	Sim

Fonte: Adaptado de Giechaskiel et al (2014)

A escolha do método a ser utilizado depende principalmente do propósito da medição, do ambiente, do grau de precisão dos resultados, da composição, do tamanho, da forma das partículas da exaustão, entre outros. A Figura 6 apresenta a sensibilidade e a interface de várias técnicas para medição de material particulado para diferentes compostos da exaustão. O opacímetro, por exemplo, é capaz detectar integralmente a fuligem e NO₂, bem como parcelas das cinzas, HC e sulfatos provenientes dos gases de exaustão de escapamentos veiculares.

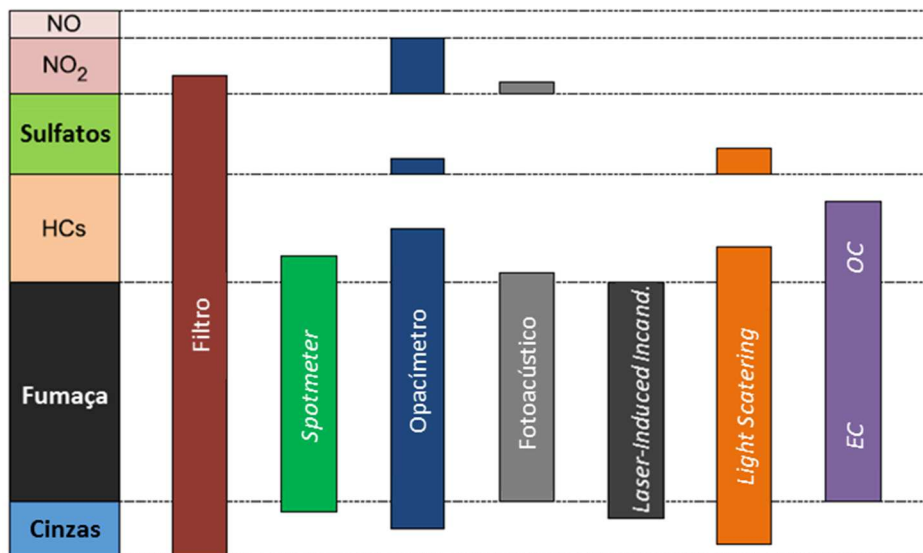


Figura 6 - Sensibilidade e interface de várias técnicas para medição de material particulado para diferentes compostos da exaustão

Fonte: Giechaskiel et al (2014)

Como o estudo dessa dissertação utiliza método óptico para medição de fumaça preta, a seguir serão apresentados, resumidamente, os principais testes relacionados a essa metodologia. De acordo com a Figura 7, o princípio dos métodos ópticos está baseado na incidência de um fecho de luz sobre as partículas, tendo como resposta dessa medição a concentração das partículas no meio. A incidência do fecho de luz nas partículas, fisicamente, pode ser descrita de três formas distintas: dispersão (*scattering*), absorção e extinção.

a) Dispersão da luz (*scattering light*)

- *Scattering photometer*: este equipamento tem a capacidade de medir a combinação da luz dispersa de todas as partículas presentes no volume analisado em diferentes ângulos (90°, 45° ou menos que 30°).
- *Optical particle counter (OPC)*: muito similares aos fotômetros, a luz dispersada é medida através de foto detector como um pulso elétrico, sendo o tamanho da partícula medido pelo tamanho do pulso.
- *Condensation Particle Counters (CPC)*: nesse equipamento é utilizada a dispersão da luz para contar as partículas após seu crescimento em dimensões micrométricas.

b) Absorção da luz

- *Spotmeter*: também conhecido como reflectômetro ou filtro medidor de fumaça, a medição da concentração da fuligem é realizada pela razão de reflexão da luz incidente no filtro de papel utilizado para filtragem dos gases de exaustão.
- *Aethalometer*: esse equipamento tem como princípio coletar o MP em um filtro de fibra de quartzo e medir a mudança na luz transmitida (absorvida) como uma função do tempo em vários comprimentos de onda.
- *Photoacoustic Soot Sensor (PASS)*: em uma amostra de aerossóis, a incidência de uma luz de amplitude absorvível aquece as partículas com capacidade de absorção. Esse aquecimento é transmitido aos gases no entorno das partículas que geram ondas de pressão, as quais são captadas por um microfone.
- *Laser-induced incandescence (LII)*: as partículas são aquecidas por um pequeno pulso de laser, logo abaixo da temperatura de sublimação do carbono, sendo o decaimento da incandescência medido por um *photomultiplier*.

c) Extinção da luz

- *Opacímetro*: esse equipamento mede a fração de luz transmitida através de um volume de gases de exaustão. Extinção da luz (também denominada de opacidade ou opacidade da fumaça) por absorção e dispersão é a diferença entre a luz incidente e transmitida.

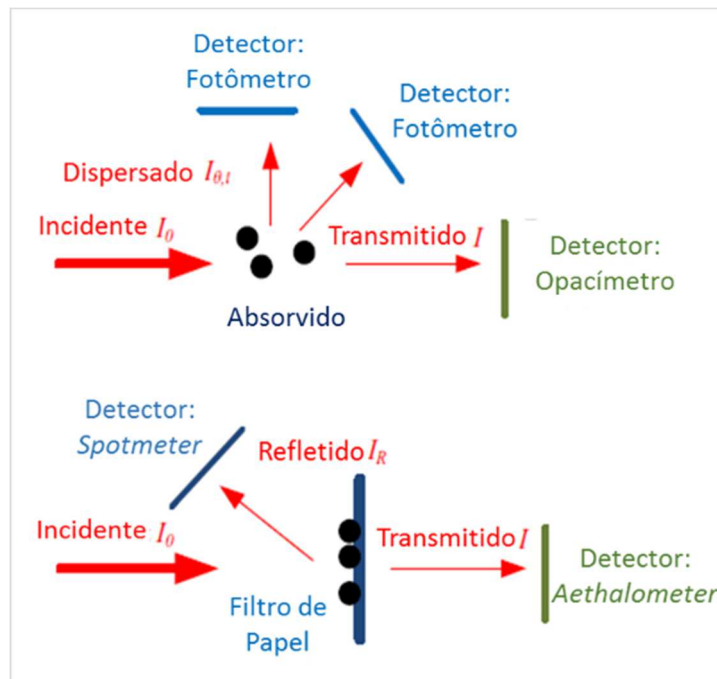


Figura 7 – Métodos ópticos de medição de material particulado

Fonte: Giechaskiel et al (2014)

Segundo Lapuerta, Ballesteros e Fernández (2007), quimicamente, as partículas exauridas no processo de combustão do óleo diesel consistem principalmente de material carbonáceo sólido altamente aglomerado, cinzas e compostos orgânicos voláteis e de enxofre. O carbono sólido é formado durante a combustão em regiões ricas em combustível, sendo que a maior parte é subsequentemente oxidado. Uma pequena fração do combustível, bem como do óleo de lubrificação, é decomposto e aparece como voláteis (fração orgânica volátil) ou como compostos orgânicos solúveis (fração orgânica solúvel) nos gases de exaustão. A Figura 8 ilustra o material particulado proveniente da exaustão de motor a Diesel, o qual, de acordo com Maricq (2007), consiste de dois tipos de partículas: a primeira apresenta estrutura baseada em fractal, aglomera as partículas de 15 a 30 nm, composta de carbono e traços de cinzas metálicas, revestidos com condensados de compostos orgânicos de extremidade mais pesadas e sulfato. O segundo conjunto é formado por partículas de nucleação constituído por hidrocarbonetos condensados e sulfato.

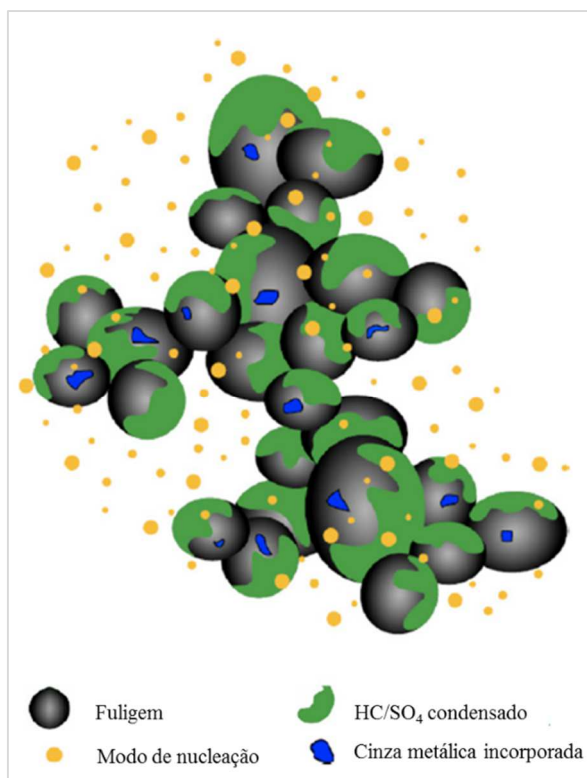


Figura 8 – Ilustração do material particulado proveniente da exaustão de motor a Diesel

Fonte: Maricq (2007)

As legislações dos Estados Unidos da América (EUA) e da União Europeia (UE) são as principais referências para o mundo em termos de controle de emissões de material particulado veicular. Basicamente, os procedimentos prescritos nas regulamentações são divididos em três categorias. O primeiro diz respeito aos testes de certificação e durabilidade para estabelecer o nível de emissão, associado aos testes de conformidade de produção, que verificam se os níveis de emissões permanecerão baixos por veículos. Já os testes de conformidade em uso, realizados em laboratório, são efetuados em um número limitado de veículos em circulação para avaliar as suas emissões durante a sua vida útil. Por último, os testes técnicos de inspeção são utilizados para verificar o estado de manutenção dos veículos e seus níveis de emissão, sendo geralmente realizados em veículos pesados e de transporte de passageiros (GIECHASKIEL et al, 2014). A Tabela 3 apresenta os requisitos das regulamentações para os motores pesados na União Europeia e nos EUA.

Tabela 3 – Resumo dos requisitos das regulamentações na União Europeia e nos EUA para motores pesados

Área	Regulamentação	Ciclo	Padrão	Limite de MP	Limite de NPS
<i>Conformidade com o tipo de aprovação de durabilidade de produção</i>					
UE	UN/ECE 49 EU 595/2009 EU 582/2011 EU 64/2012	WHTC & WHSC	Euro VI(2014)	10mg/kWh	6x10 ¹¹ kWh ⁻¹ 8x10 ¹¹ kWh ⁻¹
EUA	CFR 40/86 CFR 40/1065	FTP (dynocert) e SET	2007	10g/bhp hr	-
<i>Conformidade em uso</i>					
UE	UN/ECE 49 EU 595/2009 EU 582/2011 EU 64/2012	Moving Average window	EuroVI (2014)	Sob avaliação	-
EUA	CFR 40/86	FTP & NTE	2007	15 g/bhp h	-
<i>Inspeção Técnica</i>					
UE	EU 2009/40/EC EU 2010/48/EU	Aceleração livre	2009	-	-
EUA	Por estado	2 velocidade de marcha lenta ou dino			

NPS: Número de Partículas Sólidas
 WHTC: World Harmonized Transient Cycle;
 WHSC: World Harmonized Steady Cycle;
 FTP: Federal Test Procedure;
 SET: Supplemental Emission Test;
 NTE: Not-To-Exceed;

Fonte: Adaptado de Giechaskiel et al (2014)

3. Iniciativas de controle da poluição proveniente de veículos pesados no Brasil

Em virtude do aumento gradativo da frota de veículos no Brasil nas últimas décadas e do conseqüente aumento de unidades emissoras de poluentes para a atmosfera, fez-se necessário criar instrumentos legais e normativos para minimizar os efeitos desse impacto ao meio ambiente e à saúde humana.

No Brasil, assim como em países dotados de robusta legislação ambiental, a regulamentação da poluição do ar se dá em três vias: qualidade ambiental e controle da poluição em sentido amplo, incluindo as definições de infrações e sanções, controle de emissões por fontes fixas e móveis (PEREIRA JÚNIOR, 2007).

De acordo com Machado (2010), são instrumentos administrativos eficientes para a prevenção da poluição atmosférica os padrões de qualidade do ar, as normas de emissão, o monitoramento da qualidade do ar, o licenciamento, a revisão do licenciamento, a informação periódica da fonte emissora, a fiscalização da autoridade pública, pelos próprios empregados da fonte poluidora e pelas associações ambientais.

A seguir, serão apresentados os principais requisitos legais e normativos que tratam da emissão atmosférica de veículos pesados, em especial, no que diz respeito à fumaça preta.

3.1 Legislação e normas

Segundo Pereira Júnior (2007), o controle da emissão de poluentes por fontes móveis - veículos automotores – está amplamente regulamentado pela legislação ambiental brasileira. Uma das principais iniciativas governamentais é o PROCONVE, responsável pela redução de emissões de poluentes dos veículos pesados e leves, fator potencializador da atualização tecnológica dos motores fabricados e utilizados no Brasil.

O PROCONVE foi instituído através da Resolução CONAMA 18/1986, sendo um dos instrumentos do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR. Vale destacar alguns objetivos do PROCONVE:

- “reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos;
- promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na Engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes;
- criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso;”

A Resolução CONAMA 18/1986 ainda define que os fabricantes de motores e/ou veículos automotores do ciclo Diesel devem declarar aos órgãos competentes, inclusive ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), os valores típicos de emissão de fuligem, expressa em grau de enegrecimento do elemento filtrante e opacidade, das configurações de motor em produção. Além disso, os valores máximos especificados da emissão de fuligem nas faixas de velocidades angular de utilização do motor devem ser fornecidos aos consumidores e às Redes de Serviços Autorizados. Estabeleceu-se também valores máximos de emissão de fuligem para ônibus. A Tabela 4 apresenta características de cada fase do PROCONVE para veículos pesados.

A homologação e certificação quanto ao índice de fumaça (opacidade) em aceleração livre dos motores novos do ciclo Diesel, através da ABNT NBR 13037, é definida na Resolução CONAMA 16/1995.

A exigência da implantação, para as empresas que possuem frota própria de transporte de carga ou de passageiros movidos à Diesel, de um Programa Interno de Autofiscalização da Correta Manutenção da Frota quanto à emissão de fumaça preta ficou estabelecida na Portaria IBAMA 85/1996. Ainda nessa portaria, imputa-se a corresponsabilidade da realização do programa às empresas que contratam serviços de transporte. Para as aferições da emissão da fumaça preta, deve-se considerar como limite o padrão nº 2 da Escala Ringelmann, quando medidos em localidades situadas até 500 m de altitude, ou menor ou igual ao padrão nº 3 da Escala Ringelmann, quando medidos em localidades situadas acima de 500 (quinhentos) metros de altitude.

Tabela 4 – Características de diferentes fases do PROCONVE para veículos pesados

Fase	Implantação	Característica / Inovação
P1 e P2	1990-1993	Já em 1990 estavam sendo produzidos motores com níveis de emissão menores que aqueles que seriam requeridos em 1993 (ano em que teve início o controle de emissão para veículos deste tipo com a introdução das fases P1 e P2). Nesse período, os limites para emissão gasosa – fase P1 – e material particulado (MP) – fase P2 – não foram exigidos legalmente
P3	1994-1997	O desenvolvimento de novos modelos de motores visaram a redução do consumo de combustível, aumento da potência e redução das emissões de NO _x por meio da adoção de intercooler e motores turbo. Nesta fase se deu uma redução drástica das emissões de CO (43%) e HC (50%)
P4	1998-2002	Reduziu ainda mais os limites criados pela fase P3
P5	2003-2008	Teve como objetivo a redução de emissões de MP, NO _x e HC
P6	2009-2011	Em janeiro de 2009 deveria ter se dado o início à fase P6, conforme Resolução CONAMA nº 315 de 2002, e cujo objetivo principal, assim como na fase P5, era a redução de emissões de MP, NO _x e HC
P7	A partir de 2012	Resolução CONAMA nº 403 de 2008 introduz uma fase que demanda sistemas de controle de emissão pós-combustão (catalisadores de redução de NO _x e/ou filtros de MP)

Fonte: MMA, 2014

O Código de Trânsito Brasileiro, instituído pela Lei nº 9.503/1997, através do artigo 104, estabelece a obrigação da inspeção periódica para verificação do controle de emissão de gases poluentes e de ruído nos veículos em circulação. Além disso, o licenciamento dos veículos pelos proprietários fica atrelado à aprovação do mesmo nas inspeções citadas.

A fase do PROCONVE para veículos pesados do Ciclo Diesel, P-7, atualmente em vigor, foi instituída pela Resolução CONAMA 403/2008. Nessa fase, os veículos fabricados a partir de 1º de janeiro de 2012, devem atender aos limites máximos de emissão de poluentes, conforme a Tabela 5. Além disso, nos veículos da fase P-7, devem ser incorporados os dispositivos ou sistemas para autodiagnose, também conhecidos como OBD (*On Board Diagnostics*). O OBD tem como objetivos identificar deterioração ou mau funcionamento dos componentes do sistema de controle de emissões e alertar ao motorista para proceder à manutenção ou reparo do sistema de controle de emissões. A referida resolução estabelece ainda as características do óleo diesel padrão de ensaios de emissão, para fins de desenvolvimento e homologação, o qual deverá possuir, entre outros parâmetros, o teor de 10 ppm de enxofre.

Tabela 5 – Limites de emissão para veículos pesados compreendidos na fase P-7 do PROCONVE

Ensaio	NO _x (g/kWh)	HC (g/kWh)	CO (g/kWh)	CH ₄ (g/kWh)**	MP (g/kWh)	NMHC (g/kWh)	Opacidade (m ⁻¹)	NH ₃ (ppm)
ESC/ELR	2	0,46	1,5	N.A.	0,02	N.A.	0,5	25
ETC*	2	N.A.	4	1,1	0,03***	0,55	N.A.	25

ESC: Ciclo de Regime Constante; ELR: Ciclo Europeu de Resposta em Carga; ETC: Ciclo de Regime Transiente

* Motores a gás são ensaiados somente neste ciclo

**Somente motores a gás são submetidos a este limite

***Somente motores a gás são submetidos a este limite

Fonte: Brasil, 2008

A Resolução CONAMA 418/2009, por sua vez, tem como objetivo criar critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular (PCPV) que devem ser elaborados pelos órgãos ambientais estaduais. Esses, mediante o inventário de emissões de fontes móveis e, quando houver o monitoramento da qualidade do ar, deverão definir as alternativas de ações de gestão e controle da emissão de poluentes e do consumo de combustíveis. Coube também a essa resolução estabelecer critérios para a implantação, pelos órgãos estaduais de meio ambiente, de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – I/M. Os I/M têm como objetivo identificar desconformidades dos veículos em uso, baseadas nas especificações dos fabricantes, nas exigências da regulamentação do PROCONVE, nas falhas de manutenção e modificações do projeto original que acarretem no aumento da emissão de poluentes. A Resolução CONAMA 418/2009 ainda define que junto às frotas de uso intenso devem ser intensificadas as ações para adoção do Programa Interno de Automonitoramento da Correta Manutenção da Frota. Esse programa deve seguir as diretrizes estabelecidas pelo IBAMA, por programas estaduais para melhoria da manutenção de veículos a Diesel e por programas empresariais voluntários de inspeção e manutenção.

Por fim, a Resolução CONAMA 418/2009 estabelece os limites de emissão que deverão ser utilizados na avaliação do estado dos veículos em uso. No caso dos limites máximos de opacidade em aceleração livre para os veículos automotores do Ciclo Diesel, *a priori*, deve-se utilizar os valores certificados e divulgados pelo fabricante. Para aqueles que não possuem esse valor divulgado, deve-se considerar os valores da legislação. A Tabela 6 apresenta os limites máximos de opacidade em aceleração livre para os veículos automotores do Ciclo Diesel anteriores a 1996, enquanto a Tabela 7 traz os limites para

veículos fabricados de 1996 em diante, conforme estabelece a Resolução CONAMA 418/2009.

Tabela 6 - Limites máximos de opacidade em aceleração livre de veículos Ciclo Diesel fabricados anteriormente ao ano-modelo 1996.

Altitude (m)	Tipo de Motor	
	Naturalmente aspirado ou Turboalimentado com LDA* (m ⁻¹)	Turboalimentado (m ⁻¹)
Até 350	1,7	2,1
Acima de 350	2,5	2,8

*LDA é o dispositivo de controle da bomba injetora de combustível para adequação do seu débito à pressão do turboalimentador.

Tabela 7 - Limites de opacidade em aceleração livre de veículos do Ciclo Diesel fabricados a partir do ano-modelo 1996

Ano de Fabricação	Altitude (m)	Opacidade (m ⁻¹)
1996 - 1999	Até 350	2,1
	Acima de 350	2,8
2000 e posteriores	Até 350	1,7
	Acima de 350	2,3

Como no estudo também são verificadas medições de opacidade da fumaça em máquinas, cabe destacar que a partir de 2011, as máquinas agrícolas e rodoviárias passaram a ser incluídas no PROCONVE, conforme a Resolução CONAMA 433/2011, passando a atender os limites máximos de emissão de poluentes, sendo eles: monóxidos de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado (MP) e ruído. Além disso, a comercialização de máquinas agrícolas e rodoviárias, nacionais ou importados, somente podem ser realizadas mediante a Licença para Uso da Configuração de Veículo ou Motor (LCVM), emitida pelo IBAMA e procedimentada pela Instrução Normativa IBAMA 06/2015. Cabe destacar que a Resolução CONAMA 433/2011 não estabelece limites máximos de emissão para fumaça preta.

Em termos normativos, a ABNT NBR 13037 (2001) é a norma brasileira que trata do método de determinação da opacidade do gás de escapamento emitido por veículos automotores dotados de motor do Ciclo Diesel, através do opacímetro, em aceleração livre. O referido método também indica a regulagem do motor dos veículos em uso. A ABNT NBR 13037 também abrange os ensaios de determinação da opacidade do gás de

escapamento por motor do Ciclo Diesel em banco dinamométrico, porém, esses não são foco deste trabalho.

Para a determinação a opacidade do gás de escapamento emitido por veículos em aceleração livre, segundo a ABNT NBR 13037, deve-se seguir os seguintes passos:

1. “Antes do início do ensaio, deverá ser verificada a referência inicial do opacímetro (“zero”).
2. O motor, quando ensaiado em veículo, somente pode ser avaliado após atingir condições estabilizadas e normais de operação, utilizando-se, para tal, dinamômetro de chassi ou trafegando com o veículo.
3. Durante o ensaio o veículo deve estar freado, a alavanca de mudanças de marchas na posição neutra e a embreagem não acionada. Todos os dispositivos que alteram a aceleração do veículo, tais como ar-condicionado, freio motor, etc., devem ser desligados.
4. Verificar o sistema de escapamento quanto à ocorrência de vazamentos de gás e/ou entrada de ar. Na ocorrência de tais anomalias, saná-las antes da realização do ensaio.
5. Atingidas as condições estabilizadas e normais de operação, colocar o motor em marcha lenta, iniciando prontamente o ensaio, para que não ocorra esfriamento ou acúmulo de resíduos na câmara de combustão.
6. A fim de preservar a integridade mecânica do motor, este deve ser acelerado lentamente até atingir a rotação de máxima livre, certificando-se de sua estabilização na faixa recomendada pelo fabricante. Caso ocorra alguma anormalidade durante a aceleração do motor, desacelerar imediatamente e interromper o ensaio.
7. A instalação e a verificação do opacímetro devem ser conforme ISO 11614 e instruções do fabricante, respectivamente.

8. Com o motor em marcha lenta, o acelerador deve ser acionado de modo contínuo e rapidamente, sem golpes, até atingir o final de seu curso. Manter esta posição do acelerador até que o motor atinja, nitidamente, a rotação máxima estabelecida pelo regulador de rotações, permanecendo nesta condição por um tempo máximo de 5 s. Desacionar o acelerador e aguardar que o motor estabilize na rotação de marcha lenta e que o opacímetro retorne ao valor original obtido nessa mesma condição. Reacelerar, no máximo, em 5 s após a estabilização.
9. Executar a sequência de operações descritas no item anterior dez vezes, no máximo, tomando-se como medida o valor máximo da opacidade apresentado em cada uma das sequências.
10. Ao término do ensaio, com a sonda desconectada do sistema de escapamento, deve-se verificar o zero do opacímetro conforme prescrição do seu fabricante, a fim de validar o ensaio.
11. Para motores com diversas saídas de escapamento o processo completo de medição deve ser realizado para cada saída; o resultado a ser considerado será o maior deles”.

Para a validação do resultado final do valor da opacidade, deve-se desprezar as três primeiras medições. A partir da quarta medição, para que seja considerado o resultado, os valores de quatro medições consecutivas não podem ter diferença entre o valor máximo e mínimo superior a $0,25 \text{ m}^{-1}$ e não devem ser decrescentes. Sendo validada a avaliação, o resultado do ensaio é a média aritmética dos quatro valores consecutivos.

Além da ABNT NBR 13037 (2001), existem outras normas brasileiras que abordam a medição da opacidade da fumaça, como por exemplo, a ABNT NBR 7027

(2001) que trata da determinação da opacidade ou do grau de enegrecimento da fumaça emitida por motores do Ciclo Diesel em regime constante.

3.2 Programa CONPET

O Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) foi instituído pelo Decreto de 18 de julho de 1991, tendo como finalidade desenvolver e integrar as ações que visem a racionalização do uso dos derivados de petróleo e do gás natural, em consonância com as diretrizes do Programa Nacional de Racionalização da Produção e do Uso da Energia. Além disso, o CONPET busca reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera; promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico; e fornecer apoio técnico para o aumento da eficiência energética no uso final da energia (CONPET, 2016).

Ainda, de acordo com o referido decreto, ficou definido que a Petrobras proverá o apoio técnico e administrativo necessário ao funcionamento do Grupo Coordenador do CONPET (GCC), por intermédio de órgão de sua estrutura administrativa, apropriado para exercer as funções da Secretaria-Executiva do CONPET-SEC.

Para identificar os equipamentos que apresentem níveis ótimos de eficiência energética, tanto para o CONPET quanto para o PROCEL, o Decreto de 8 de dezembro de 1993, cria o Selo Verde de Eficiência Energética. O Selo CONPET de Eficiência Energética é concedido anualmente pela Petrobras aos modelos que atingem os graus máximos de eficiência energética na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia do Programa Brasileiro de Etiquetagem do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO (CONPET, 2016).

O CONPET é responsável por estimular a eficiência no uso da energia em diversos setores, com ênfase nas residências, indústrias e transportes, além de desenvolver ações de educação ambiental. O TransportAR, EconomizAR e o EngenhAR são três projetos desenvolvidos no âmbito do CONPET focando na eficiência energética no setor de transportes.

3.2.1 Projeto TransportAR e EconomizAR

O Projeto EconomizAR foi desenvolvido através de uma parceria entre o CONPET e as federações e sindicatos patronais de transporte de cargas e passageiros. O objetivo do projeto é atender periodicamente as empresas vinculadas a essas entidades, através de visitas realizadas pelos técnicos do EconomizAR, que fazem a avaliação das respectivas frotas de ônibus e caminhões do Ciclo Diesel. Os veículos aprovados nesse projeto podem utilizar o Selo Verde (Figura 9), reconhecido pelos estados e municípios por meio de acordos de cooperação assinados entre os órgãos ambientais locais, as entidades de transporte e o CONPET / Petrobras (CONPET, 2016).

O Projeto TransportAR é realizado no âmbito da Petrobras, nos terminais de abastecimento das Refinarias, e em suas empresas parceiras, com foco nos caminhões tanque de distribuidoras e caminhões de carga de produtos da Petrobras e de empresas parceiras. Esse projeto tem como objetivo avaliar as condições dos caminhões, bem como realizar medição da opacidade da fumaça. Nos postos do projeto, além da realização gratuita da avaliação dos veículos, são distribuídos materiais educativos aos motoristas (CONPET, 2016).



Figura 9 – Selo Verde do Projeto EconomizAR

3.2.2 Programa EngenhAR

O Programa de Educação Ambiental da Engenharia – EngenhAR foi desenvolvido ao longo dos anos de 2010 a 2012 na área de Engenharia da Petrobras. O programa teve como objetivo trazer iniciativas sustentáveis para as obras da Petrobras, através da promoção de educação ambiental por meio de sensibilizações da força de trabalho ou capacitações em escolas, bem como pela redução do consumo de combustíveis fósseis, pela minimização da emissão da fumaça preta em veículos e máquinas do Ciclo Diesel.

Um estudo realizado por Rao e Pearce (1996) identificou uma correlação entre opacidade da fumaça emitida por um veículo Diesel com o consumo de combustível, sendo possível verificar que quanto maior a opacidade da fumaça, maior o consumo de combustível por quilômetro rodado.

O Programa EngenhAR, além de buscar a sustentabilidade das obras, mostra a proatividade da Petrobras na fiscalização de suas obras e no apoio às suas empresas contratadas a cumprirem requisitos legais e minimizarem desperdícios de recursos financeiros e naturais.

Para o alcance desses objetivos, o programa contou com três projetos pilares. O primeiro deles, denominado de Sensibilização, procurou desenvolver, ao longo do primeiro mês do programa, uma série de atividades com a força de trabalho da Engenharia da Petrobras através de palestras, vídeos, matérias, jogos interativos, quiz, entre outras ações relacionadas à educação ambiental com foco especial na conservação dos recursos naturais (Figura 10).

O CONPET na Escola foi outro projeto integrante do EngenhAR, o qual capacitava professores do 6º ao 9º ano do ensino fundamental e de cursos técnicos das redes pública e privada em oficinas de trabalho interativas que abordavam questões sobre o uso racional da energia. Segundo dados do Projeto CONPET na Escola, ao todo, ao longo de 2010 a 2012, foram realizadas 57 oficinas e capacitados cerca de 2.274 professores de escolas situadas em comunidades próximas às obras da Petrobras (Figura 11).



Figura 10 – Materiais educativos desenvolvidos para o Programa EngenhAR

Fonte: Arquivo do Programa EngenhAR



Figura 11 - Oficinas do CONPET na Escola

Fonte: Arquivo do Programa EngenhAR

O terceiro projeto, EngenhAR na Obra, tinha como foco realizar medição de opacidade da fumaça e educação ambiental junto às empresas contratadas pela Petrobras para a realização das obras de Construção e Montagem Industrial.

Cabe destacar que o setor de construção e montagem industrial está relacionado a grandiosos investimentos (mais de 1 bilhão de dólares), prazo de conclusão superior a 2 anos e vida útil de 50 anos ou mais. Pode-se elencar dentro desta categoria as obras rodoviárias, usinas hidrelétricas, barragens, túneis, obras portuárias, obras ferroviárias, usinas nucleares, aeroportos, entre outros (PEILIANG ZHANG, 2011). Na Petrobras, as obras estão relacionadas principalmente à construção de plataformas e embarcações, refinarias, petroquímicas, oleodutos, gasodutos e térmicas. No Plano de Negócios e Gestão da Petrobras, ao longo de 2015 a 2019, serão realizados investimentos da ordem

de U\$ 130,3 bilhões, sendo que a maior parte desta monta está diretamente relacionada às obras de construção e montagem industrial (PETROBRAS, 2016b).

O EngenhAR na Obra possuía duração de até no máximo uma semana (5 dias úteis), sendo customizado de acordo com as dimensões do canteiro, quantitativos de trabalhadores, veículos e máquinas a serem medidos. As atividades iniciavam através de uma reunião de abertura com a participação de lideranças da Petrobras e da empresa contratada. Nessa reunião, apresentava-se o objetivo do projeto, o cronograma das atividades e realizavam-se atividades de sensibilização ambiental.

Realizada a reunião de abertura, passava-se a fase das atividades de campo. Um educador ambiental percorria as frentes de serviço da obra realizando atividades de sensibilização ambiental com grupos de trabalhadores. As atividades tinham objetivo de sensibilizar os trabalhadores para as questões ambientais tanto da obra quanto do seu dia-a-dia. Nessa abordagem, utilizavam-se dinâmicas variadas com linguagem simples e de fácil compreensão. Ao todo, o EngenhAR na Obra realizou atividades de educação ambiental com cerca de 18.000 trabalhadores. A Figura 12 apresenta algumas das técnicas utilizadas nas atividades de sensibilização dos trabalhadores.



Figura 12 – Atividades de sensibilização

Fonte: Arquivo do Programa EngenhAR

Paralelamente às atividades de sensibilização, dois técnicos devidamente treinados pela Petrobras realizavam as medições de fumaça preta em veículos, máquinas e equipamentos (Figura 13). Anteriormente às medições, os técnicos avaliavam as condições dos veículos e máquinas quanto à vazamentos, estado dos pneus, entre outros e informavam aos motoristas e operadores sobre a necessidade e a importância da realização da manutenção preventiva. Além disso, eram distribuídas cartilhas do CONPET e transmitidas informações sobre a emissão de fumaça e sua implicação no meio ambiente, no consumo de combustível e sua relação no funcionamento dos veículos e máquinas. Antes de iniciar as medições, os técnicos orientavam os motoristas e operadores sobre o procedimento da medição da fumaça e como eles deveriam agir durante a realização da mesma. Ao final do teste, os técnicos informavam os resultados da medição, a classificação da opacidade da fumaça emitida, orientando àqueles reprovados a realizarem manutenção. Uma via da Ficha de Avaliação – Medições da Opacidade da Fumaça Preta era entregue ao motorista do veículo ou operador da máquina com os dados da avaliação (Anexo 1).



Figura 13 – Medições de opacidade da fumaça em veículos e máquinas

Fonte: Arquivo do Programa EngenhAR

Por último, após o término das atividades de campo, realizava-se a reunião de encerramento com as lideranças da Petrobras e da empresa contratada. Essa reunião tinha como objetivo apresentar os resultados das atividades realizadas, como o número de trabalhadores sensibilizados, medições executadas, classificação das medições e

agradecimentos. Além disso, um relatório era entregue à Petrobras com todas as informações coletadas. De posse deste relatório, a Petrobras encaminhava uma cópia à empresa contratada, solicitando que os equipamentos reprovados na medição fossem submetidos à manutenção.

Ao todo, o Projeto EngenhAR na Obra realizou 44 campanhas em 28 unidades de implementação de empreendimentos situadas em 12 estados do País. Por se tratar de um projeto voluntário, as unidades da Engenharia da Petrobras não eram obrigadas a receber os projetos, sendo que a realização das campanhas se deu de acordo com a demanda das mesmas.

Em virtude da boa aceitação do Projeto EngenhAR na Obra e por demanda de algumas unidades, o trabalho de medição da opacidade da fumaça acabou sendo estendido, uma vez que foram cedidos opacímetros digitais para cinco unidades de implementação de empreendimento da Petrobras. Os dados coletados por essas unidades, ao longo de 2012 a 2014, também foram levados em consideração na análise dos resultados das medições que serão discutidas neste trabalho.

4. Avaliação das medições de opacidade da fumaça em obras de construção e montagem industrial – Um estudo de caso

Para o estudo de caso, utilizaram-se as medições da opacidade de fumaça emitida por veículos e máquinas do Ciclo Diesel de obras de construção e montagem da Petrobras no Brasil, realizadas no Programa EngenhAR. Dentro desse estudo de caso, foram incluídos os dados coletados pelas cinco unidades de implementação de empreendimento da Petrobras que passaram pelo Programa EngenhAR e receberam um opacímetro digital para realizar suas próprias medições, conforme citado anteriormente.

Neste capítulo, primeiramente, serão discutidos os resultados quali-quantitativos das medições de fumaça preta das obras de construção e montagem, apresentando um panorama global dos resultados, bem como estratificados por ano, macrorregião do país e estados. Para as análises dos veículos e máquinas, serão apresentados resultados estratificados por subcategoria, idade e fabricante. Além disso, buscar-se-á verificar uma possível correlação entre a emissão de fumaça preta e a idade dos veículos e máquinas medidos. Para verificar a existência de possíveis *outliers* na base de dados, será utilizada uma análise gráfica do tipo *box plot*.

Posteriormente, será confrontada a legislação brasileira que trata da emissão de fumaça preta, Resolução CONAMA 418/2009, com os valores de porta coletados nos veículos analisados no Programa EngenhAR e as legislações do Reino Unido e Califórnia (EUA) para verificação dos parâmetros de emissão estabelecidos.

Nas medições realizadas no Programa EngenhAR, utilizou-se a metodologia descrita na norma ABNT NBR 13037 (2001). O equipamento adotado foi o Opacímetro Digital da marca Napro Eletrônica Ind. LTDA, modelo NA-9000E, composto de um banco ótico, o qual possui percurso ótico ou comprimento efetivo do opacímetro equivalente a 430 mm, computador portátil, sonda de captação de gases e demais acessórios (Figura 14). O opacímetro em questão é do tipo fluxo parcial, onde somente uma parcela do fluxo dos gases de exaustão são captados pela sonda e utilizados na medição de opacidade. Cabe destacar que existem também os opacímetros de fluxo total, os quais utilizam todo o fluxo dos gases de exaustão para definição da opacidade da fumaça.



Figura 14 - Opacímetro digital Napro NA-9000E

Fonte: Arquivo do Programa EngenhAR

Na Tabela 8 são apresentadas as especificações técnicas do opacímetro utilizado nas medições do Programa EngenhAR.

Tabela 8 – Especificações técnicas do opacímetro digital Napro NA-9000E

Tensão de Alimentação	11 a 30 Vdc 85 à 265 Vac (opcional com fonte)
Potência Máxima	60 W
Fusível de Proteção	5A
Tamanho da sonda de captação de gases	1,2 metros
Temperatura de funcionamento	2 ~ 50 °C
Dimensões	aprox. 330x310x190 mm
Peso	~ 6 kg
Percurso Ótico equivalente	430 mm
Tempo de Aquecimento	< 5 minutos
Faixa de Medição	0 – 99,9% / 0 – 9,99 m ⁻¹
Resolução	0,1% / 0,01 m ⁻¹

Fonte: Napro (2010)

O Opacímetro Digital Napro NA-9000E é dotado de um sistema informatizado próprio para o gerenciamento das medições, o qual possui três opções de seleção em sua tela inicial: medição, administração e sair. No módulo administração, é possível verificar testes realizados (relatórios) e as empresas cadastradas no sistema. Já no módulo medição,

o usuário entra no programa de medição do equipamento. Ao selecionar essa opção, inicialmente o sistema localiza o opacímetro realizando uma varredura de todas as portas do computador. Identificado o opacímetro, bem como o terminal de dados, inicia-se o preenchimento das informações relacionadas à medição e seleção do tipo de teste de acordo com as três opções disponíveis: NBR 13037, CONAMA 418/2009 e medição instantânea (Figura 15). Nas medições do Programa EngenhAR, utilizou-se o teste NBR 13037.

Medição NBR 13037

Aguarde Procurando Opacímetro!

Medidor Opacidade Conectado Terminal de Dados Conectado

Identificação do Veículo:

Placa: **Nº de Ordem:**

Ano Veículo: **Modelo:**

Dados do Teste:

Valor K Máximo: **Nome do Operador:**

Tipo de Teste: NBR 13037 Conama 418 de 2009
Portaria 147 da SVMA(Controlar) Medição Instantânea

Local Ensaio:

Observação:

Empresa:

Nome da Empresa:

Cidade: Estado:

F5 - Apagar Dados **F12 - Iniciar Teste** **F4 - Sair**

Figura 15 – Dados de entrada da medição de opacidade

Fonte: Napro (2010)

Ao iniciar o teste, o equipamento verifica se o opacímetro continua ligado ao sistema, se está em condições de funcionamento, bem como realiza a rotina de aquecimento. Concluída essa etapa, o opacímetro realiza a calibração para ajustar o “zero” do equipamento. Finalizadas essas rotinas, a sonda é inserida no escapamento do veículo.

O processo de medição da opacidade da fumaça pelo opacímetro se inicia com a entrada dos gases de exaustão pela sonda, com o acionamento do acelerador pelo motorista. Após percorrer a sonda, os gases são distribuídos uniformemente na câmara de fumaça que inicialmente estava preenchida por ar limpo. Em uma das extremidades da câmara, localiza-se uma fonte de luz, responsável por emitir um fecho de luz, o qual

percorre todo o comprimento efetivo do opacímetro até atingir o receptor (célula fotoelétrica), situada na outra extremidade do equipamento. A medição propriamente dita da opacidade se dá através da variação da intensidade luminosa que é emitida e a que alcança o receptor. À medida que a fumaça avaliada é mais opaca, a luz é absorvida pela mesma, sendo que a quantidade de luz que chega ao receptor é inversamente proporcional à concentração de fumos na câmara, ou seja, quanto menor a quantidade de luz recebida, maior é quantidade de partículas existentes nos gases na câmara de medição e vice-versa (ABNT NBR 12897, 1993; CEPRA, 2000).

A transmissão das informações das medições entre o banco ótico e o computador pode ser realizada de duas formas: sistema sem fio (*wireless*) *Bluetooth* ou cabo de comunicação serial. À medida que as medições são realizadas, as informações são fornecidas automaticamente na tela do computador e ao final, o resultado (aprovado ou reprovado) da medição é apresentado (Figura 16).



Figura 16 – Resultados das medições

Fonte: Napro (2010)

Tente et al (2011) apontam como limitações do método de medição da opacidade da fumaça de veículos em aceleração livre por opacímetro a questão da variabilidade dos resultados em virtude da temperatura do motor e pela sensibilidade da aceleração, uma vez que diferentes motoristas podem performar a aceleração do veículo de forma distinta.

Uma aceleração rápida provocará a liberação de grandes quantidades de partículas de Diesel que não serão queimadas, ao passo que uma aceleração mais branda ocasiona uma liberação mais adequada de combustível, aumentando a eficiência da combustão e diminuindo a opacidade dos gases exauridos. Para minimizar essas questões, faz-se necessário proceder a avaliação da temperatura do motor indicada para o teste (temperatura de operação), bem como a realização de uma orientação prévia aos motoristas do procedimento a ser seguido, conforme especificada na metodologia da ABNT NBR 13037 (2001).

4.1 Análise das medições do Programa EngenhAR

Embora a legislação atual estabeleça que o resultado da medição necessite apenas ser apresentado em duas alternativas, i.e., se o equipamento está conforme ou acima dos parâmetros estabelecidos, o EngenhAR, por ser um programa vinculado ao Projeto TransportAR do CONPET, utilizou o mesmo método desse projeto para a classificação das avaliações realizadas, conforme descrito a seguir.

Ao longo deste subitem, serão apresentados os resultados das medições de opacidade da fumaça realizados ao longo do Programa EngenhAR, sendo que no subitem 4.1.3, os mesmos serão discutidos.

4.1.1 Método EngenhAR

Por se tratar de um programa educativo, para o enquadramento da avaliação, criaram-se quatro classes: ótimo, bom, ruim e muito ruim. Através dessas classes, o motorista do veículo ou o operador da máquina pode ter uma melhor noção da emissão de fumaça preta e do conseqüente grau de desperdício de Diesel através da exaustão dos gases provenientes da combustão do motor. Na Tabela 9, são apresentadas as faixas de classificação das medições.

Tabela 9 – Classificação dos resultados das medições da opacidade da fumaça

Classificação	Resultado
Ótimo	Opacidade 40% abaixo do parâmetro estabelecido pelo Programa EngenhAR
Bom	Opacidade atende o parâmetro estabelecido pelo Programa EngenhAR
Ruim	Opacidade não atende o parâmetro estabelecido pelo Programa EngenhAR
Muito Ruim	Opacidade ultrapassa o limite em 50% do parâmetro estabelecido pelo Programa EngenhAR

Para a definição do limite de emissão de fumaça preta, o CONPET procurou se basear nos parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA 418/2009, contudo, para certas condições, o parâmetro estabelecido foi mais restritivo, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 – Limites de opacidade definidos pelo CONPET

Ano	Opacidade (m⁻¹)	
	Nível do Mar	Acima de 350 m
Anterior a 1996	1,69	2,28
A partir de 1996	Valor de porta	Valor de porta corrigido
	1,54	2,08

Cabe destacar que a Resolução CONAMA 418/2009 estabelece parâmetros para emissão de fumaça em veículos. Contudo, como já mencionado, pelo fato do Programa EngenhAR ter caráter educativo, utilizou-se os mesmos parâmetros do TransportAR para a avaliação de máquinas, uma vez que não existem parâmetros estabelecidos em legislação para esta tipologia. De acordo com a tabela acima, os veículos e máquinas fabricados antes de 1996 terão seu limite de opacidade de 1,69 m⁻¹, quando medidos ao nível do mar, e de 2,28 m⁻¹, quando medidos em altitudes acima de 350 m. Já para os veículos e máquinas fabricados a partir de 1996, primeiramente, adotou-se o valor de porta estabelecido pelo fabricante, quando as medições foram realizadas ao nível do mar, e corrigidos, quando realizados acima de 350 m. Na inexistência do valor de porta,

utilizou-se o limite para a opacidade, ao nível do mar, de $1,54 \text{ m}^{-1}$ e, acima de 350 m, de $2,08 \text{ m}^{-1}$.

O valor de porta foi estabelecido pela Resolução CONAMA 16/1995, onde ficou definido que os fabricantes ou encarregadores finais dos veículos deveriam afixar uma etiqueta quadrada da cor amarela com o valor do índice de fumaça, em aceleração livre, na coluna B da porta dianteira direita. Esse valor é aquele declarado no processo de homologação e certificação do motor e/ou veículo, incluída uma tolerância para a dispersão de produção de, no máximo, $0,5 \text{ m}^{-1}$. A Figura 17 apresenta uma etiqueta com o valor de porta de um veículo.



Figura 17 – Etiqueta do valor de porta

Fonte: Arquivo Programa EngenhAR

4.1.2 Resultados do Programa EngenhAR

Como já mencionado anteriormente, ao longo de 2010 a 2014, o Programa EngenhAR realizou 1.963 avaliações de fumaça com opacímetro digital em veículos e máquinas, sendo a maior parte das medições (46%) coletadas no ano de 2012. A Figura 18 apresenta a quantidade de avaliações da opacidade da fumaça por ano.

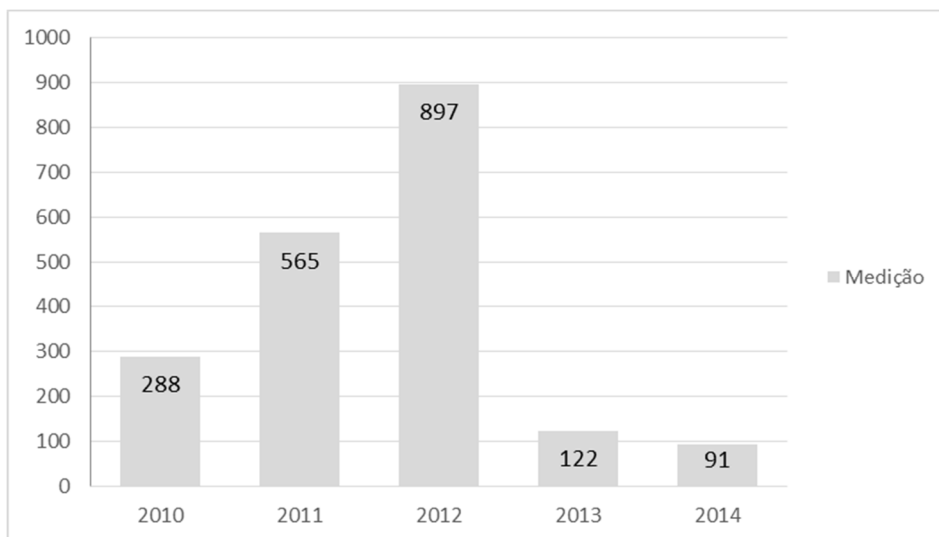


Figura 18 – Medições de opacidade da fumaça do Programa EngenhAR por ano

Conforme a Figura 19, é possível verificar que ao longo dos anos há uma tendência de um aumento percentual das medições passarem a atender os padrões de opacidade da fumaça estabelecidos pelo Programa EngenhAR. O ano de 2011 apresentou um percentual de medições classificadas como ótimo e bom de 69%. Por outro lado, no ano de 2014, verifica-se um percentual de medições aprovadas (ótimo e bom) de 94%. Além disso, destaca-se que quando as medições são aprovadas ou reprovadas, a probabilidade de serem classificadas como ótimo ou muito ruim são maiores, ou seja, as emissões de fumaça tendem a apresentar valores de opacidade baixos ou muito altos. Vale pontuar também que, a partir de 2013, a Petrobras passou a comercializar no Brasil o Diesel S-10, de baixo teor de enxofre, em substituição ao Diesel S-500 que, entre outros benefícios, propicia a introdução de veículos a diesel com modernas tecnologias de tratamento de emissões, com redução de até 80% das emissões de MP (PETROBRAS, 2016a). Sendo assim, é possível que a entrada do Diesel S-10 no mercado tenha refletido nos resultados de 2013 e 2014. Contudo, por mais que os resultados apresentem uma tendência de melhora ao longo dos anos quanto à gestão da emissão da fumaça preta por veículos e máquinas, em virtude da diminuta amostra nos anos de 2013 e 2014, bem como pelo curto espaço amostral do programa, não é possível fazer essa afirmação.

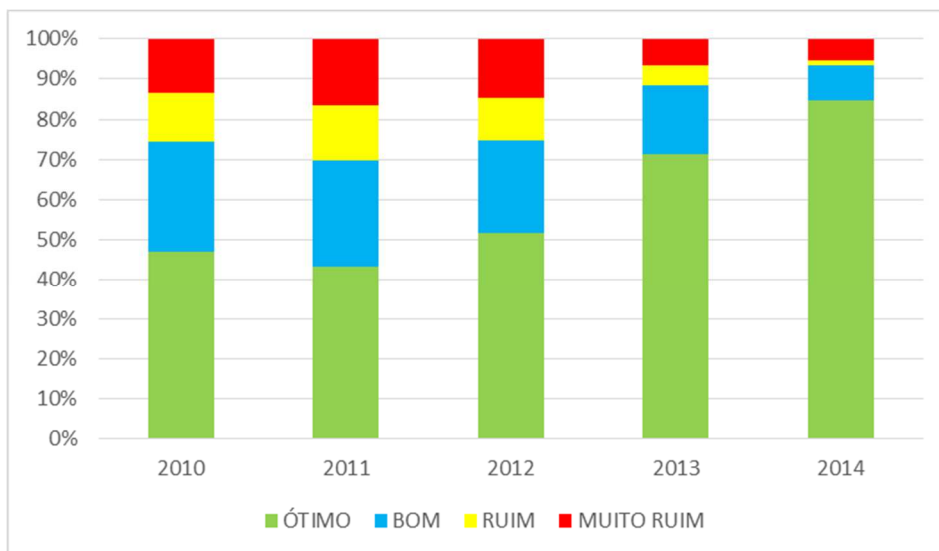


Figura 19 – Classificação das medições do Programa EngenhAR ao longo dos anos

Do total de medições realizadas, a maior parte (1.488) avaliou os veículos, enquanto as demais (475), avaliaram as máquinas, conforme apresenta a Figura 20.

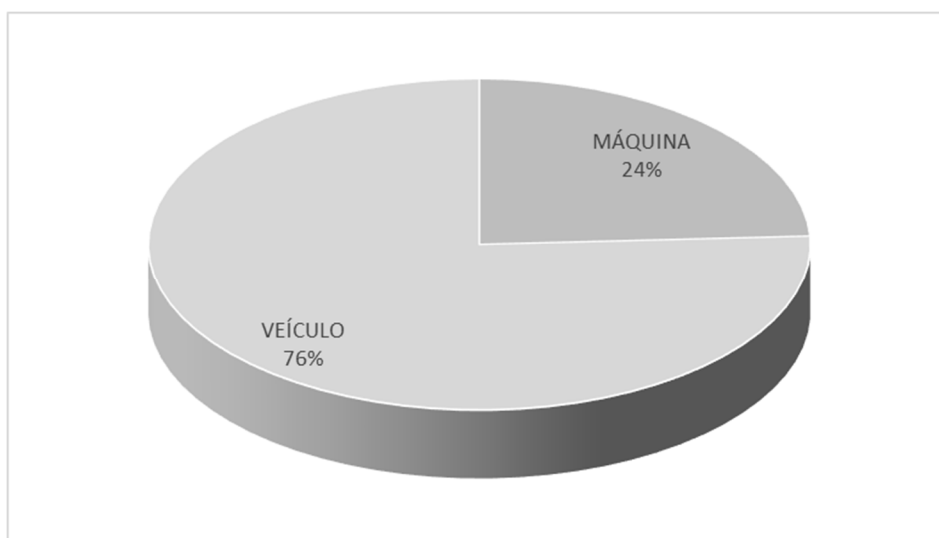


Figura 20 – Avaliações realizadas em veículos e máquinas

Analisando o resultado das medições, pode-se verificar que 1.005 foram classificadas como ótimo; 466, bom; 214, ruim; e 278, muito ruim. Dessa forma, de todas as medições realizadas, 75% atenderam os parâmetros estabelecidos pelo EngenhAR, enquanto 25% excediam tais parâmetros. A Figura 21 apresenta os resultados das medições do Programa EngenhAR de acordo com a classificação estabelecida pelo programa.

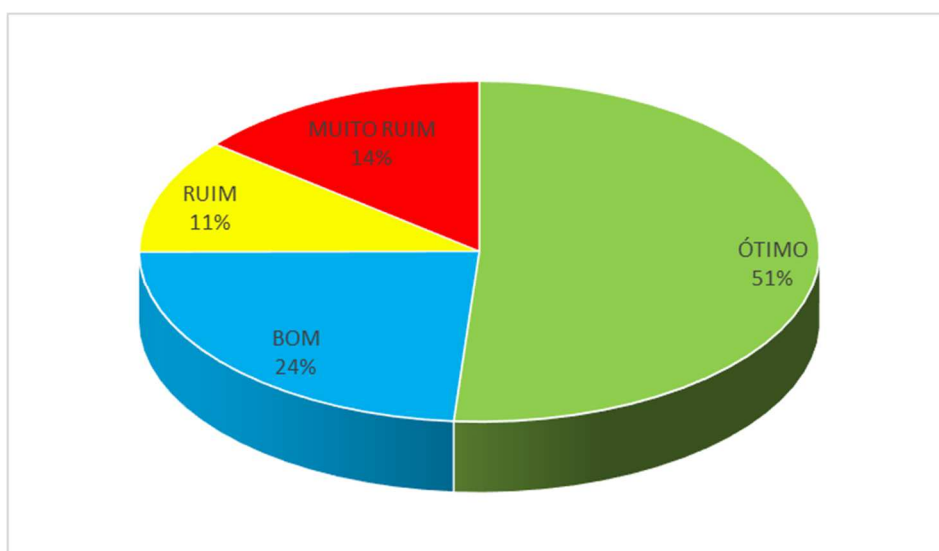


Figura 21 – Resultados das medições do Programa EngenhAR

Realizando uma análise da variabilidade dos dados das medições da opacidade da fumaça em máquinas e veículos, percebe-se que em ambas categorias, a opacidade medida variou de 0 a 9,99 m⁻¹. Para efetuar uma análise dos *outliers* da amostra, foram utilizadas as Equações 1 e 2.

$$\text{Limite inferior} = Q_1 - 1,5(Q_3 - Q_1) \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{Limite superior} = Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,

Limite inferior: indica o valor mínimo da amostra, sendo que os valores inferiores a esse são considerados *outliers* (m⁻¹);

Limite superior: indica o valor máximo da amostra, sendo que os valores superiores a esse são considerados *outliers* (m⁻¹);

Q₁: valor referente ao primeiro quartil (m⁻¹);

Q₃: valor referente ao terceiro quartil (m⁻¹).

Os resultados apontam para 136 *outliers*, de uma amostra de 1.963 dados, sendo 118 referente à categoria de veículos e 18 de máquinas, o equivalente a 7,9% e 3,8% da amostra de cada categoria, respectivamente (Tabela 11). Efetuando uma análise dos *outliers*, verifica-se que seis correspondem a valores de 9,99 m⁻¹. Nessas medições, há alta probabilidade de ter ocorrido algum tipo de erro, pois 9,99 m⁻¹ corresponde ao limite superior de detecção do equipamento e por este motivo, para a análise dos dados, serão excluídos. Para os demais *outliers*, mesmo apresentando valores altos de opacidade, como por exemplo, 8,83 m⁻¹; 8,34 m⁻¹; 7,9 m⁻¹; 7,76 m⁻¹; 6,94 m⁻¹; não é possível afirmar que se tratam de erros, uma vez que em campo, encontram-se veículos e máquinas com emissões de fumaças visualmente enegrecidas. Sendo assim, esses *outliers* serão mantidos na análise dos resultados.

Tabela 11 – Análise de *outliers* da amostra

	Veículos	Máquinas
<i>Outlier</i> mínimo	-1,0	-1,8
<i>Outlier</i> máximo	2,6	4,2
Total de <i>outliers</i>	118	18
Representatividade na amostra	7,9%	3,8%

Com relação às médias e medianas, nota-se que esses valores para os veículos foram mais baixos (0,98 m⁻¹ e 0,68 m⁻¹), quando comparados aos mesmos dados das máquinas (1,36 m⁻¹ e 1,04 m⁻¹). Em termos percentuais, 75% das medições da opacidade dos veículos tiveram resultados abaixo de 1,25 m⁻¹, enquanto nas máquinas, esse percentual correspondeu a 1,94 m⁻¹. Uma das possíveis causas para os resultados de opacidade das máquinas terem sido mais elevados que a dos veículos pode estar vinculada a inexistência de legislação que estabeleça limites de fumaça preta para máquinas. Dessa forma, pode haver uma menor preocupação por parte das empresas em manter as máquinas dentro de padrões ambientalmente sustentáveis, por falta de sanções ou mesmos por falta de conhecimento de um padrão ambientalmente adequado. Além disso, outra inferência que poderia ser feita, diz respeito a uma maior variabilidade de tipologias de máquinas, como por exemplo plataformas elevatórias, guindastes, trator de esteiras, rolos compactadores, tratores agrícolas, entre outros, quando comparado aos veículos, que estão limitados a caminhões, ônibus, picapes, vans e ambulâncias. A Figura 22 mostra a análise dos dados das medições em máquinas e veículos através do gráfico do tipo *Box Plot*.

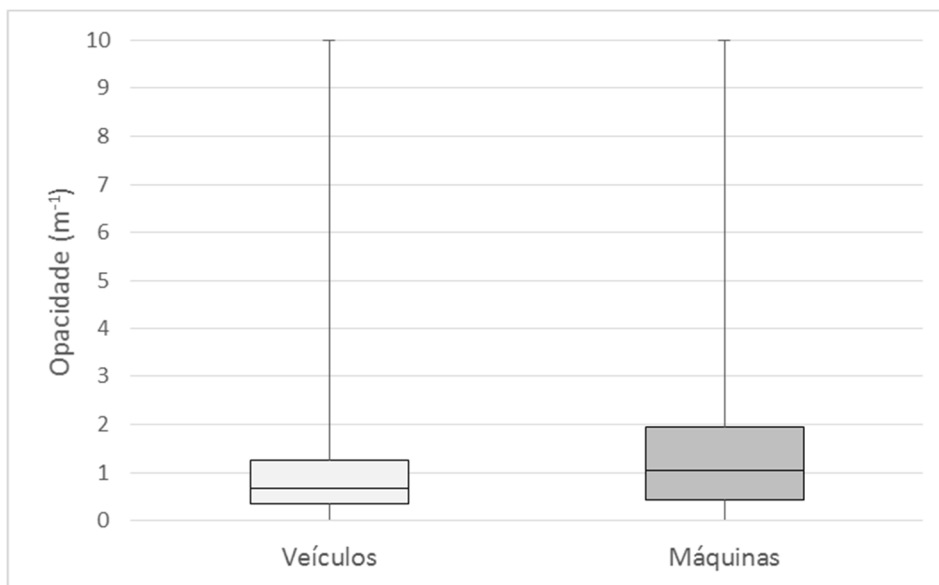


Figura 22 – Análise da variabilidade dos dados dos veículos e máquinas

Em virtude das medições terem sido realizadas em obras de construção e montagem industrial situadas em 12 diferentes estados (Bahia, Ceará, Espírito Santo, Maranhão, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Pernambuco, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e São Paulo), é importante analisar o comportamento das medições por macrorregião do país e por estado.

Foram realizadas medições do Programa EngenhAR em 4 macrorregiões do país, sendo elas: Nordeste (NE), Sudeste (SE), Centro-Oeste (CO) e Sul (S). A maior parte das medições (87%) foram executadas no Sudeste e Nordeste: 983 e 730, respectivamente. No Sul e Centro-oeste foram analisadas 188 e 62 opacidades de fumaça, respectivamente. Cabe destacar que as medições do centro-oeste se limitaram ao estado de Mato Grosso do Sul. Com relação à classificação das medições por macrorregião do país, percebe-se que quanto maiores as quantidades de análises realizadas, melhor o desempenho da macrorregião. Dessa forma, o Sudeste apresentou percentual de aprovação de 77%, enquanto o Nordeste, Sul e Centro-oeste obtiveram, respectivamente, 76%, 70% e 45% (Figura 23).

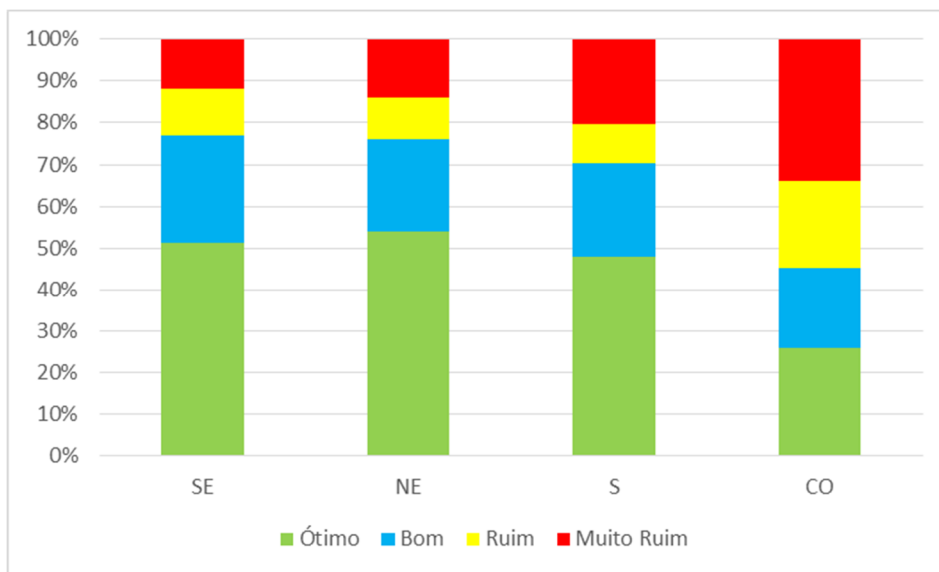


Figura 23 – Classificação das medições de opacidade da fumaça por macrorregião do Brasil

Das medições de opacidade da fumaça realizadas no Programa EngenhAR, 74% foram realizadas nos estados do Rio de Janeiro (32%), Pernambuco (30%) e São Paulo (12%). Os nove estados restantes totalizam 26%. A Figura 24 apresenta o número de medições de opacidade realizada no Programa EngenhAR por estado.

Na análise das medições por classificação, percebe-se que os três estados com maior concentração das medições apresentaram comportamento similar, com percentuais de aprovações em torno de 77% para o Rio de Janeiro, 79% para o Pernambuco e 78% para São Paulo, estando, portanto, acima da média das medições aprovadas do programa. Já os estados com o pior desempenho foram, respectivamente, Maranhão, Mato Grosso do Sul e Paraná, com 56%, 55% e 41% de medições reprovadas. O estado com melhor desempenho foi o Ceará, apresentando 95% das medições aprovadas, porém, foi o estado com menor número de medições. Outro ponto de destaque, diz respeito às medições do estado de Minas Gerais. Por mais que o percentual de medições que atenderam aos parâmetros do Programa EngenhAR esteve próximo à média geral (em torno de 73%), as medições classificadas como ótima tiveram um desempenho comparativamente um pouco acima daquelas registradas no Mato Grosso do Sul e Maranhão e abaixo do Paraná (Figura 25).

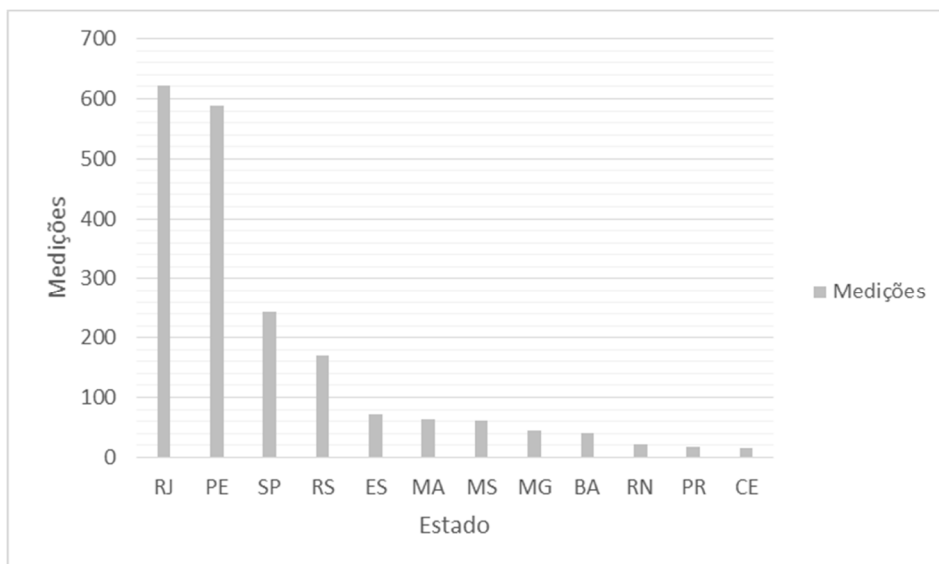


Figura 24 – Número de medições de opacidade da fumaça por estado

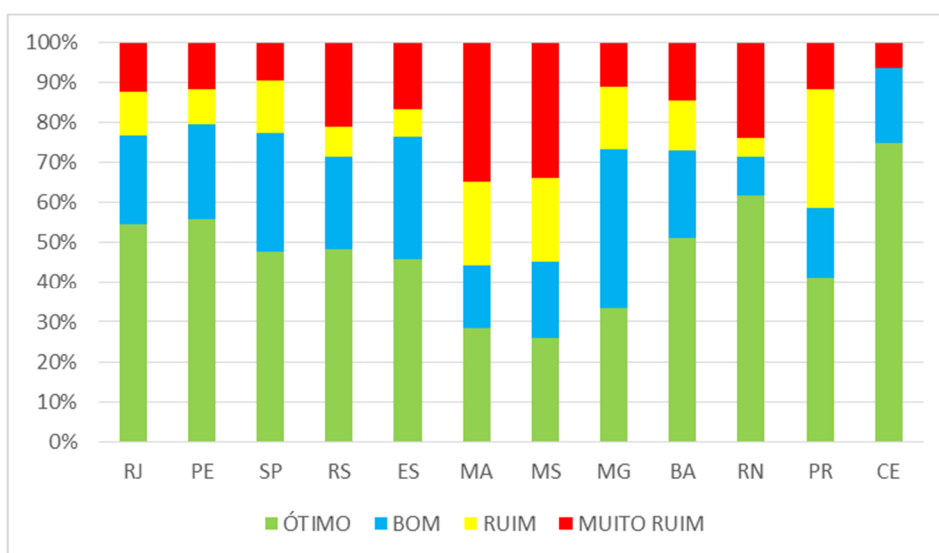


Figura 25 – Classificação das medições de opacidade da fumaça por estado

Ainda com relação às medições de opacidade da fumaça do Programa EngenhAR, procede-se uma análise de correlação entre a idade do veículo e da máquina com a opacidade medida. De acordo com a Figura 26, o gráfico de dispersão mostra uma correlação fraca entre as variáveis idade e a opacidade, uma vez que o coeficiente de determinação (R^2) é equivalente a 0,05. Ao realizar a mesma análise para cada uma das categorias, obtém-se um R^2 de 0,02 para os veículos e de 0,13 para as máquinas. Para minimizar a falta de homogeneidade da amostra, realizou-se também uma análise

somente com as medições de veículos e máquinas com mais de 10 anos de fabricação, uma vez que as demais medições apresentavam alta variabilidade. Nessa amostra, o R^2 é equivalente a 0,16. Diante das informações apresentadas, não é possível afirmar que equipamentos mais antigos emitem fumaça de maior opacidade quando comparados aos equipamentos novos. De acordo com os resultados obtidos nas medições, é possível identificar equipamentos novos com opacidades acima de 5 m^{-1} ou mesmo equipamentos antigos, com mais de 25 anos, que emitem fumaça com menos de 2 m^{-1} de opacidade. Esse resultado mostra que a manutenção preventiva dos equipamentos é de suma importância para a minimização da fumaça preta por máquinas e veículos. De certa forma, esse papel é exercido pela legislação, como por exemplo a Resolução CONAMA 418/2009, que estabelece os critérios para a implantação dos Programas de Inspeção e Manutenção Veicular em Uso – I/M pelos órgãos estaduais e municipais ou mesmo o Programa Interno de Automonitoramento da Correta Manutenção da Frota.

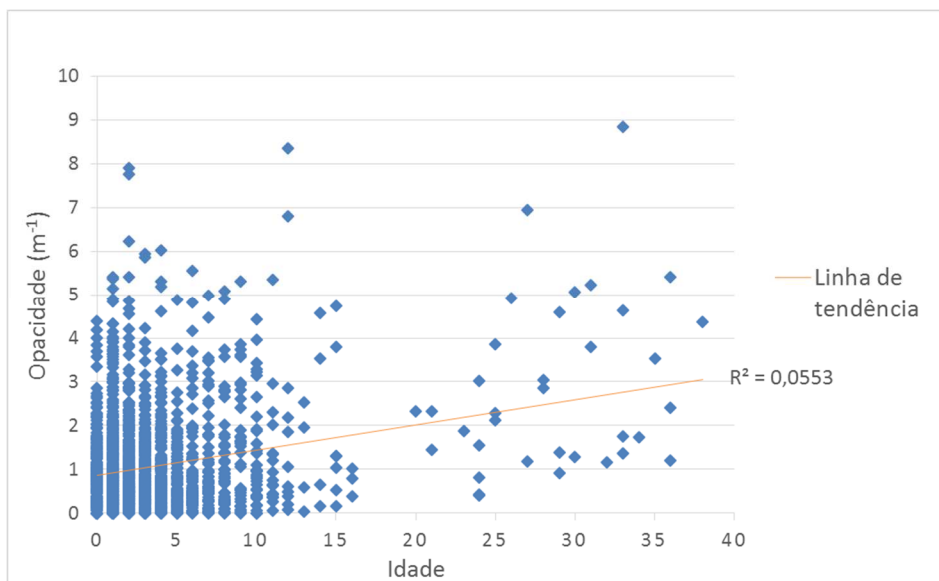


Figura 26 – Análise de correlação entre a idade e opacidade

4.1.2.1 Veículos

Nesta seção, será apresentada a análise da categoria dos veículos, na qual foram realizadas 76% das medições. As avaliações efetuadas nessa categoria foram agrupadas em cinco subcategorias: caminhão (contempla todos os tipos de caminhões como

basculante, tanque, vácuo, poliguindaste, entre outros), ônibus (estão inclusos também os microônibus), van, caminhonete (compreende em sua grande maioria as picapes) e ambulâncias (no geral, vans convertidas em ambulâncias). Das medições realizadas, mais da metade (55%) corresponde a subcategoria dos caminhões, seguido por ônibus (23%), vans (14%), caminhonetes (6%) e ambulâncias (2%). A Figura 27 apresenta a distribuição das medições dos veículos por subcategorias.

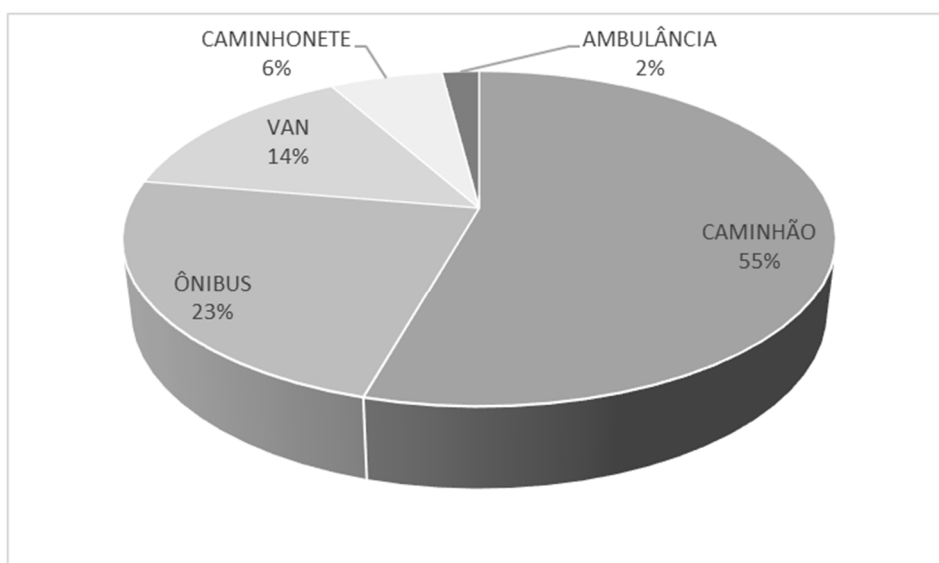


Figura 27 – Medições dos veículos por subcategoria

No geral, os veículos foram aprovados em 77% das medições realizadas, percentual acima do verificado no Programa EngenhAR. Do percentual de aprovações, 52% foram classificadas como ótimo e 25% como bom. Por outro lado, 23% das medições foram reprovadas, sendo 9% classificadas como ruim e 14% como muito ruim, conforme a Figura 28.

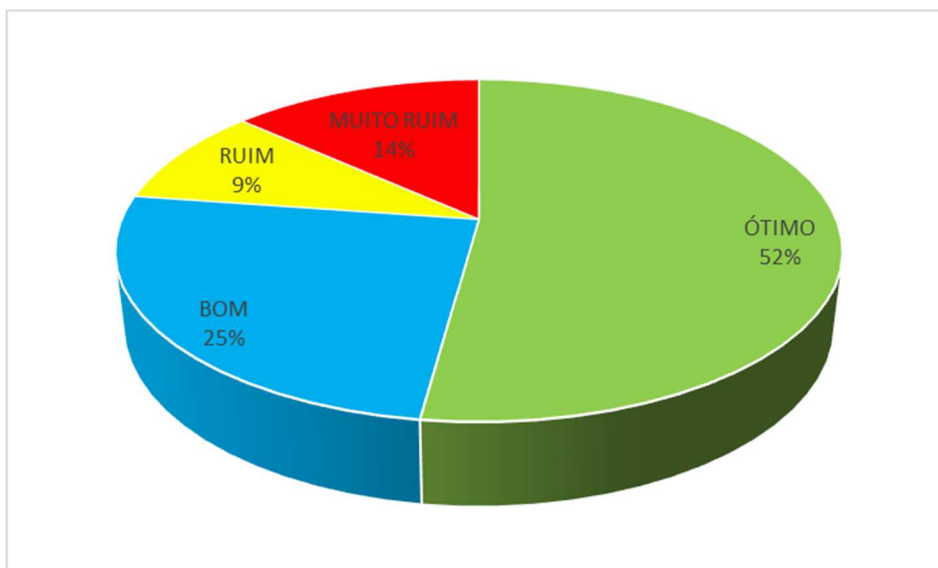


Figura 28 – Classificação das medições dos veículos

Ao estratificar as medições da categoria dos veículos nas cinco diferentes subcategorias, é possível observar que os caminhões e ônibus apresentam aprovações acima da média dos veículos, com destaque para os ônibus, que obtiveram aprovação de 309 das 347 medições (89%). As subcategorias van, caminhonete e ambulância obtiveram percentuais de reprovação de 39%, 66% e 40%, respectivamente (Figura 29).

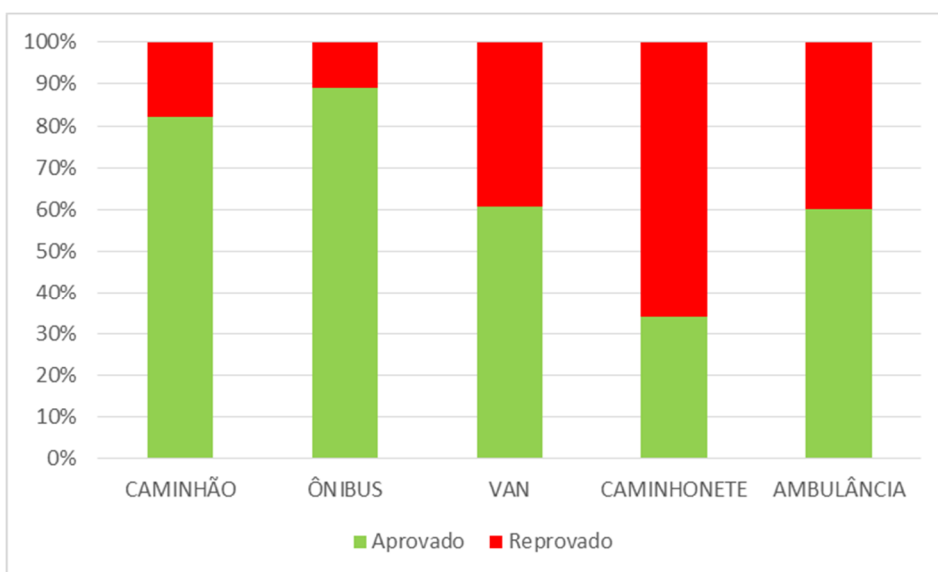


Figura 29 – Classificação das medições dos veículos por subcategoria

Uma das análises que é possível realizar com os dados dos veículos avaliados é a classificação das medições da opacidade da fumaça por idade da frota. A Figura 30 apresenta a distribuição da idade da frota analisada, sendo possível verificar que em torno de 74% dos veículos medidos possuem até 5 anos de fabricação. A parcela dos veículos medidos que possuem de 6 a 14 anos representa 24% e o grupo com 15 anos ou mais, 2%.

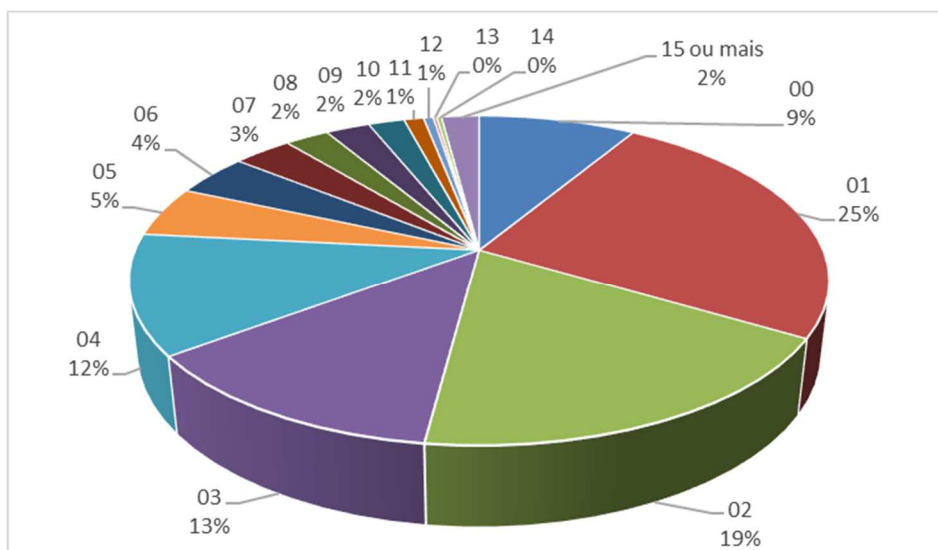


Figura 30 – Frota dos veículos analisados por idade

Ao avaliar as medições dos veículos por idade, é possível verificar que as aprovações da frota de 0 a 4 anos vão aumentando gradativamente, iniciando em 67% e chegando a 82%. Diante desses resultados, cabe um destaque para os veículos novos, que tiveram a medição realizada no ano de sua fabricação, sendo que das 96 unidades avaliadas, 32 foram reprovadas (33%). Já os veículos compreendidos na faixa de 5 a 9 anos apresentam um comportamento contrário, onde é possível observar uma diminuição das medições aprovadas, passando de 75% para 41%. Na frota com idade de 10 anos em diante, não há uma tendência clara, pois as aprovações das medições variam de ano para ano. Todos os dois veículos com 13 anos de idade avaliados foram aprovados nos padrões do Programa EngenhAR. A Figura 31 mostra a relação da idade da frota com os percentuais de medições aprovadas e reprovadas.

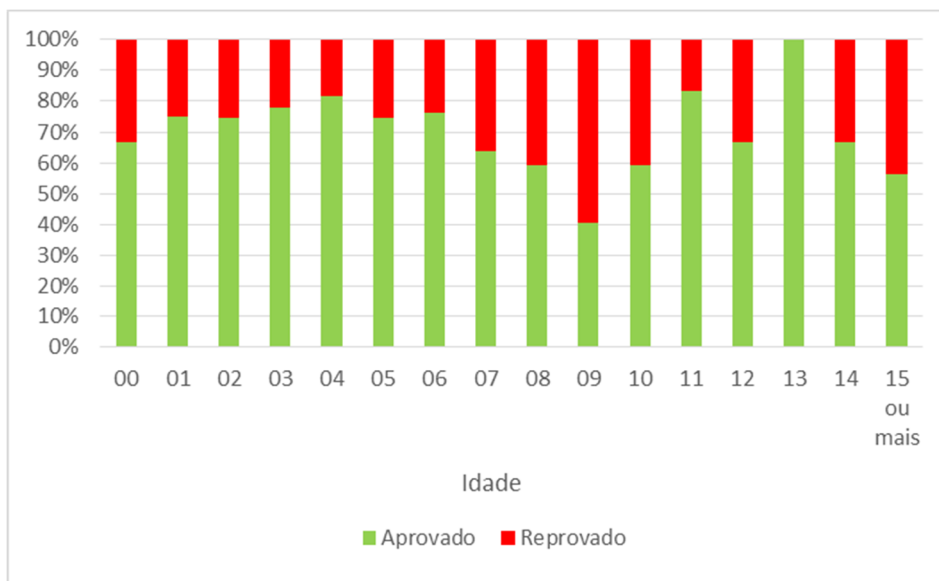


Figura 31 - Classificação das medições dos veículos por idade

Com relação ao ano de fabricação, cabe realizar uma análise dos veículos pesados abrangidos na Resolução CONAMA 403/2008 que estabelece a nova fase do PROCONVE a P-7. Essa fase estabelece padrões mais restritivos de emissão de poluentes, sendo que o padrão de homologação da opacidade para veículos fabricados a partir de 2012 é de $0,50 \text{ m}^{-1}$. Analisando o grupo P-7 de veículos monitorados no Programa EngenhAR, verifica-se um total de 75 avaliações. Dessas, 59 (78,6%) foram classificadas como ótimo; 11 (14,7%), bom; 2 (2,7%), ruim; e 3 (4,0%), muito ruim. A opacidade média desses veículos girou em torno de $0,41 \text{ m}^{-1}$.

Cabe também uma análise da medição dos veículos por fabricante do motor. Do total de medições realizadas, 80% estão concentradas em quatro fabricantes: Mercedes Benz, Volkswagen, Ford e Fiat, os quais representam 33%, 30%, 11% e 6%, do total, respectivamente. As demais marcas como Renault, Volvo, Peugeot, entre outros, representam 20% das medições realizadas. A Figura 32 demonstra o percentual de medições realizadas em veículos por fabricante do motor.

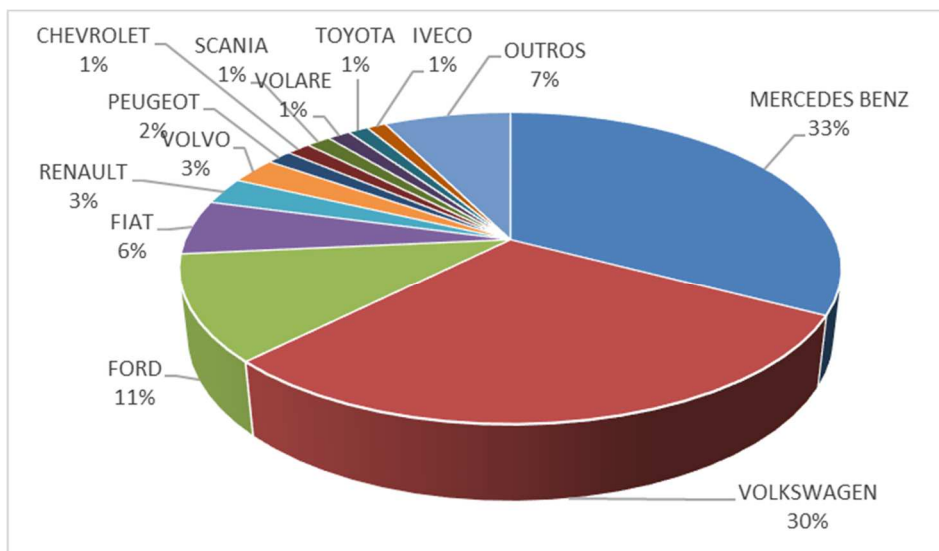


Figura 32 – Medições por fabricante do motor

Com relação à classificação das medições da opacidade da fumaça, os quatro fabricantes com maiores números de medições realizadas têm como percentuais de aprovação valores superiores ou próximos à média para a categoria dos veículos. A Mercedes Bens, fabricante com maior número de medições, 468, obteve 74% de aprovação. Já a Volkswagen, Ford e Fiat obtiveram 88%, 84% e 74% das medições aprovadas, respectivamente. Cabe destacar que a Iveco teve o melhor desempenho, sendo que todas as 16 medições estavam dentro dos limites estabelecidos no Programa EngenhAR. Além disso, a Scania apresentou 95% de aprovação, sendo que, das 20 medições da opacidade da fumaça, somente uma foi reprovada. Comparando-se as medições reprovadas, o fabricante Chevrolet apresenta o maior percentual, 90%, seguido de Toyota, 76%, e Renault, 52%. A Figura 33 apresenta o percentual de medições aprovadas e reprovadas no Programa EngenhAR por tipo de fabricante do motor.

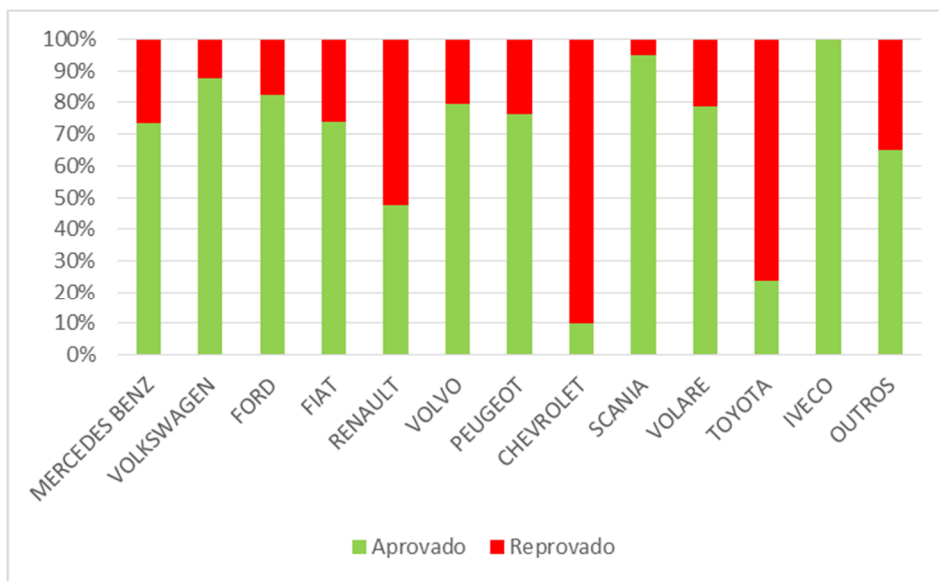


Figura 33 – Classificação das medições por fabricante do motor

4.1.2.2 Máquinas

Conforme já mencionado, por mais que não exista legislação no Brasil que trate das emissões de fumaça preta em máquinas, no Programa EngenhAR, por ter cunho educativo, procurou realizar medições nessa categoria. Assim como realizado anteriormente, onde detalharam-se os resultados das medições de opacidade da fumaça dos veículos, neste tópico buscar-se-á entender a relação entre as máquinas e a emissão de fumaça preta.

Das 475 medições realizadas em máquinas, 229 foram classificadas como ótimo e 92 como bom, representando um percentual de medições aprovadas de 67%. Por outro lado, 75 medições foram enquadradas como ruim e 79 em muito ruim, sendo equivalente a 33% de medições reprovadas. Comparando os resultados das medições de opacidade da fumaça das máquinas com os veículos, percebe-se que a aprovação dos veículos é 10 pontos percentuais maior. Um dos motivos para esse resultado, como já mencionado anteriormente, pode estar relacionado à existência de uma legislação sobre fumaça preta para veículos, enquanto não há legislação para as máquinas, o que não obriga as empresas a atenderem padrões ambientais desejáveis. A Figura 34 apresenta a classificação das medições de opacidade da fumaça de acordo com os parâmetros do Programa EngenhAR.

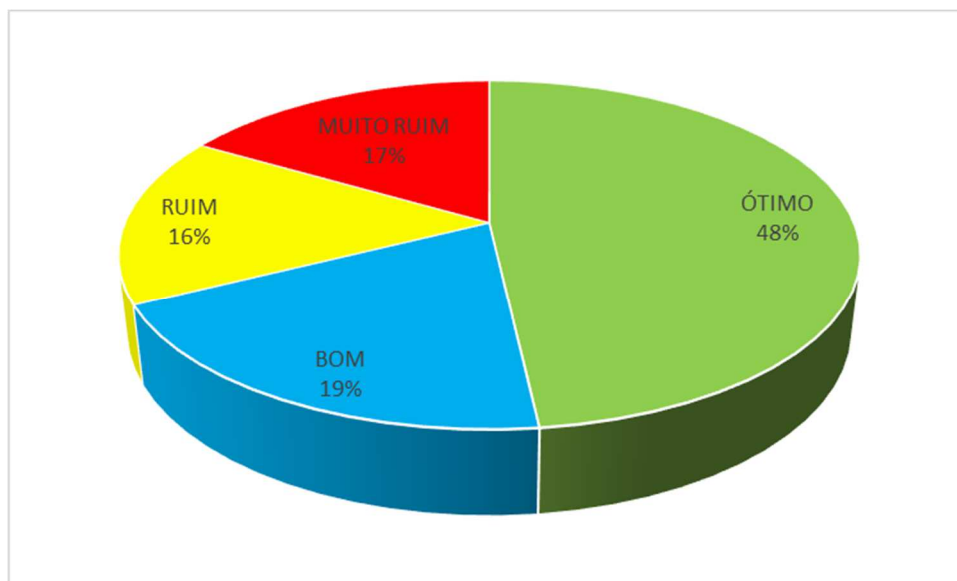


Figura 34 – Classificação das medições das máquinas

As máquinas avaliadas foram classificadas em onze subcategorias: retroescavadeira, escavadeira, plataforma elevatória, rolo compactador, guindaste, pá carregadeira, motoniveladora, empilhadeira, trator agrícola, trator e outros. A subcategoria das retroescavadeiras apresentou a maior quantidade de medições, 123, correspondendo a 26% do total. As demais categorias não apresentaram variações tão acentuadas de quantidade de medições, como ocorreu no caso dos veículos, uma vez que a segunda subcategoria com maior número de medições, escavadeira, concentrou 11% das medições, enquanto as subcategorias com menores quantitativos de medições, empilhadeira, trator agrícola e trator, tiveram 5% das medições. A Figura 35 mostra o percentual de medições por subcategoria das máquinas.

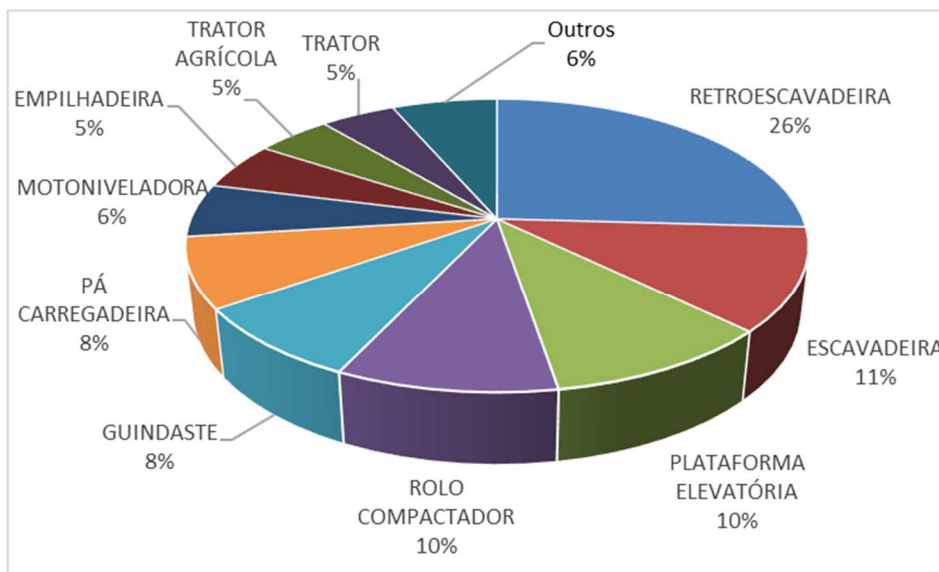


Figura 35 – Medições das máquinas por subcategoria

De acordo com a Figura 36, constata-se que as subcategorias plataforma elevatória, escavadeira e guindaste apresentam os maiores percentuais de medições de opacidade da fumaça aprovados, 92%, 91% e 90%, respectivamente. Cabe destacar que, das 48 medições realizadas em plataformas elevatórias, 44 foram aprovadas, sendo que em 18 unidades, o resultado foi equivalente a $0,0 \text{ m}^{-1}$. Já as máquinas que apresentaram maiores reprovações foram os tratores agrícolas (73%), trator (63%) e retroescavadeira (50%).

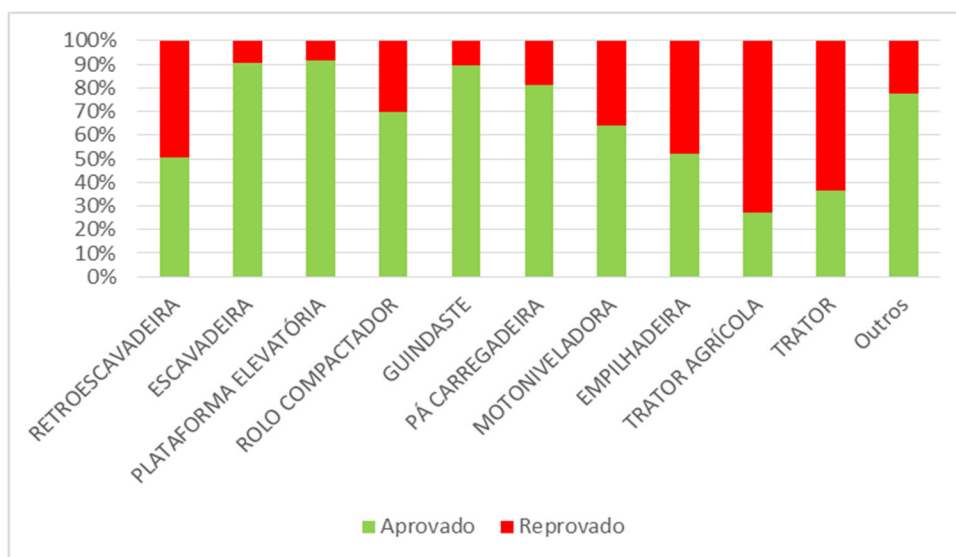


Figura 36 – Classificação das medições das máquinas por subcategoria

Em se tratando de idade, observa-se que 88% das máquinas avaliadas no Programa EngenhAR possuem até 5 anos de uso. A quantidade de máquinas avaliadas que possuem de 6 a 14 anos corresponde a 7%, enquanto aquelas com 15 ou mais anos representam 5%, conforme a Figura 37.

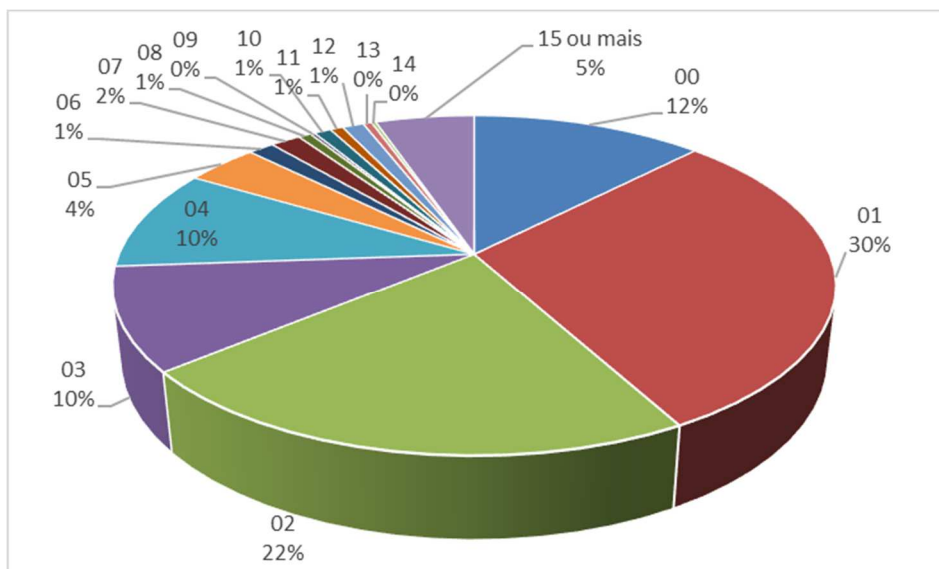


Figura 37 – Frota das máquinas analisados por idade

Analisando as avaliações por idade das máquinas, verifica-se que aquelas compreendidas na faixa de 0 a 10 anos de fabricação apresentam um comportamento similar em termos de aprovação e reprovação, já que o percentual de aprovação girou em torno de 60% a 75%, com exceção da idade de 9 anos. Já as máquinas com 11 ou mais anos de fabricação apresentaram percentuais de aprovação mais baixos, entre 33% a 40%. Ressalva-se que as máquinas com 13 e 14 anos foram reprovadas em sua totalidade, mas contemplavam somente 2 e 1 avaliações. Além disso, cabe destacar que as máquinas novas, avaliadas no ano em que foram fabricadas, apresentaram um percentual de aprovação de 67%, o mesmo percentual de avaliações aprovadas para a categoria máquinas (Figura 38).

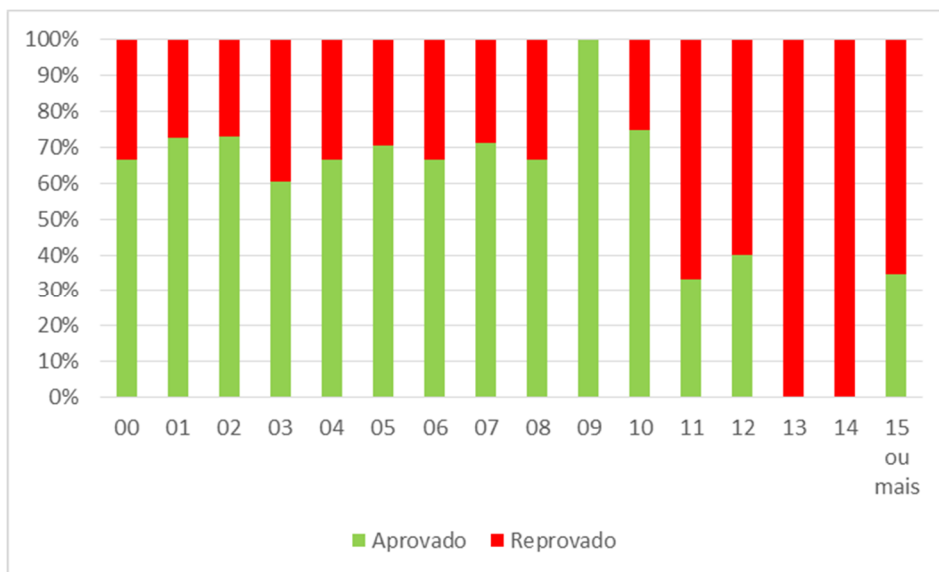


Figura 38 - Classificação das medições das máquinas por idade

Dentre os motores de máquinas mais avaliados no programa, o fabricante Caterpillar representou 28%, seguido de Case, 9%; JCB, 6%; JLG, 6%; New Holland, 5%; Genie, 4%; Hyundai, 4%; Volvo, 3%; Komatsu, 3%; Valtra, 3%; Liebherr, 3%; Grove, 2%. Os demais fabricantes totalizaram 24% das avaliações. A Figura 39 apresenta o percentual de avaliações realizadas por fabricante do motor.

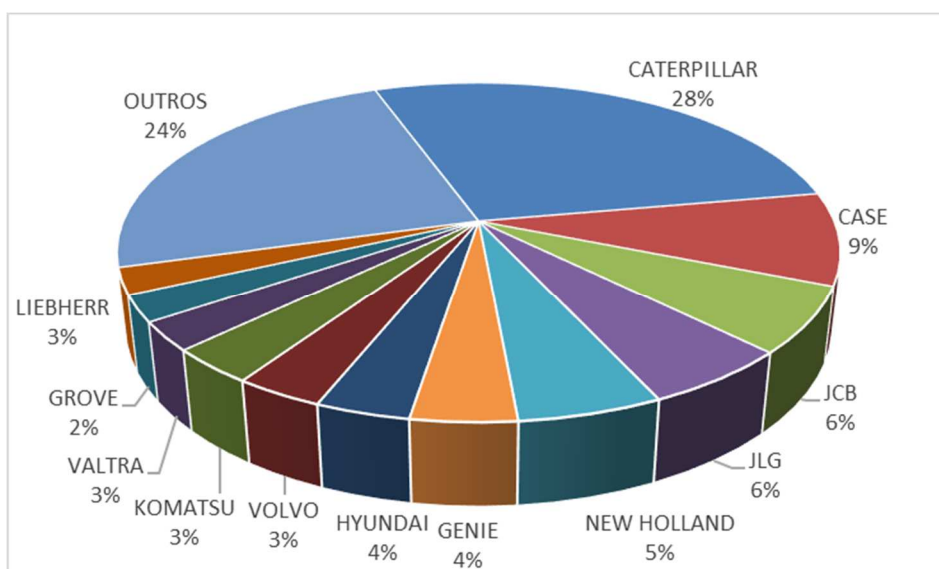


Figura 39 – Medições por fabricante do motor

De acordo com os resultados obtidos das avaliações por fabricante do motor das máquinas, observa-se que os fabricantes Genie, Hyundai e Liebherr tiveram todas as medições aprovadas pelos critérios estabelecidos no EngenhAR. Os fabricantes JLG, Volvo, Komatsu e Grove tiveram elevados níveis de medições aprovadas, entre 83% a 89%. O fabricante Caterpillar, com maior número de avaliações (132), obteve 64% das medições aprovadas, percentual similar ao dos fabricantes consolidados na subcategoria “Outros”. Já o desempenho mais baixo foi do fabricante Valtra, onde apenas 2 medições, das 13 realizadas, foram aprovadas (15%). A Figura 40 apresenta o resultado das medições por fabricante do motor.

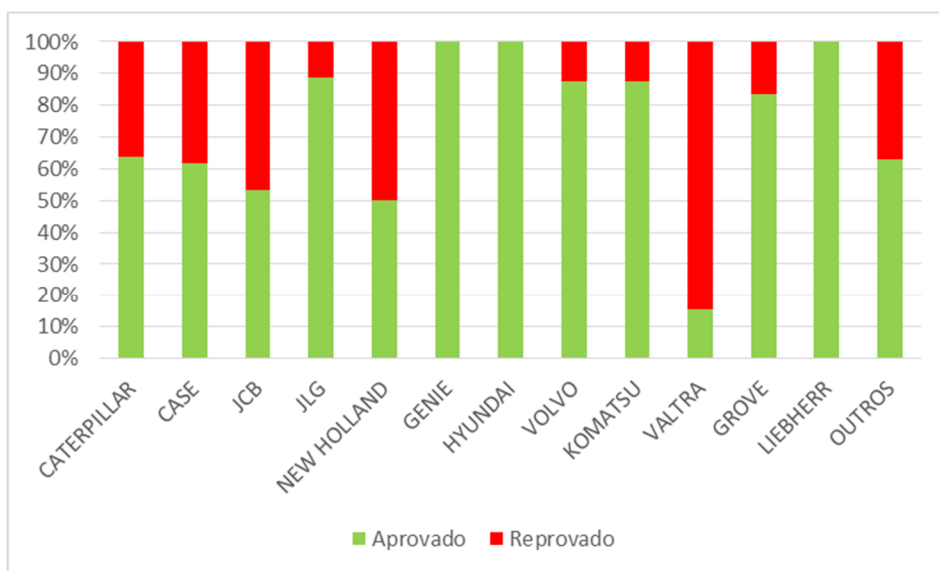


Figura 40 – Classificação das medições por fabricante do motor

4.1.3 Discussão dos resultados das medições de fumaça do Programa EngenhAR

Das 1.963 medições de fumaça avaliadas, 76% foram realizadas em veículos e 24% em máquinas. A maioria das medições (75%) foram classificadas como ótimo ou bom, de acordo com os limites de opacidade de fumaça adotados pelo EngenhAR. As demais medições (25%) foram reprovadas, sendo classificadas como ruim e muito ruim. Ao longo do programa, à medida que eram identificados veículos e máquinas irregulares, os motoristas eram orientados a encaminhá-los para manutenção.

O valor das opacidades medidas tanto para veículos, quanto para máquinas, variou de 0,00 a 9,99 m^{-1} , limites inferior e superior do opacímetro digital. Contudo, pode-se perceber que os resultados das medições de opacidade da fumaça para as máquinas são ligeiramente superiores em relação aos dos veículos. Uma das explicações para tal fato pode estar relacionada à inexistência de legislação específica para emissão de fumaça de máquinas.

O EngenhAR realizou medições da opacidade da fumaça em 12 estados do País, sendo que 74% delas foram realizadas nos estados do Rio de Janeiro (32%), Pernambuco (30%) e São Paulo (12%), uma vez que a maioria das obras da Petrobras, no período em questão, estavam concentradas nesses estados.

Na análise da correlação entre idade do veículo e máquina com a opacidade emitida por esses, não foi possível verificar que veículos e máquinas novos emitem fumaça de menor opacidade, bem como os antigos, emitem fumaça de maior opacidade, uma vez que, nas simulações realizadas, o coeficiente de determinação ficou abaixo de 0,16. Fica evidente, através dos resultados, que alguns veículos e máquinas novos apresentaram desempenho ruim quanto à opacidade da fumaça, enquanto algumas medições de veículos e máquinas com quase 25 anos de fabricação tiveram como resultado opacidades menores que 1 m^{-1} . Dessa forma, pode-se inferir que a manutenção tem papel fundamental na emissão de fumaça preta, já que um equipamento novo, sem manutenção, pode estar desregulado, com peças danificadas, e dessa forma poderá emitir mais poluentes para a atmosfera, quando comparada a um equipamento antigo com a manutenção em dia.

Com relação à avaliação realizada sobre os veículos abrangidos na fase P-7 do PROCONVE, foi possível verificar que mais de 93% das medições de opacidade da fumaça foram aprovadas. Dessa forma, fica evidente que a tecnologia desses veículos aliada ao novo Óleo Diesel S-10, comercializado no Brasil a partir de 2013, resultam em emissões de fumaças de menor opacidade, menos poluentes. A opacidade média da fumaça emitida por esses veículos girou em torno de 0,41 m^{-1} , enquanto a média do Programa EngenhAR para veículos foi de 0,98 m^{-1} , ou seja, 58% menor.

Tanto na categoria de máquinas quanto de veículos, foi possível observar diferentes percentuais de aprovação e reprovação entre os fabricantes. Em termos de avanço tecnológico, a engenharia automobilística evoluiu significativamente nas últimas

décadas. Foi possível identificar que muitos dos fabricantes que apresentaram altos percentuais de aprovação nas medições de opacidade da fumaça dotavam seus veículos e máquinas de dispositivos de injeção eletrônica. Esse dispositivo é capaz de dosar a quantidade de ar e combustível que será injetado na câmara de combustão, minimizando dessa forma combustões ricas (grande quantidade de combustível) e pobres (grande quantidade de ar). As combustões ricas, em especial, estão fortemente atreladas à emissão de fumaça preta, uma vez que o combustível que não foi consumido na reação de combustão é expelido do motor junto aos gases de exaustão.

A qualidade do combustível está diretamente relacionada às emissões exauridas por um motor. Combustíveis adulterados podem provocar fumaça preta em excesso. No Programa EngenhAR, não foram realizadas análises da qualidade dos combustíveis e por esse motivo, não foi possível avaliar esse parâmetro no presente estudo.

4.2 Análise dos parâmetros de fumaça preta estabelecidos na legislação

De posse do banco de dados das medições de opacidade da fumaça do Programa EngenhAR, buscar-se-á realizar simulações para verificar o grau de restrição dos parâmetros de fumaça preta estabelecidos na Resolução CONAMA 418/2009. Para tanto, serão realizadas quatro análises. A primeira consiste em utilizar as medições do Programa EngenhAR e substituir os parâmetros estabelecidos no programa pelos padrões da referida resolução para verificar os percentuais de avaliações aprovadas e reprovadas. A segunda análise utilizará somente os dados medidos no Programa EngenhAR que utilizaram como parâmetro os valores de porta dos veículos e da mesma forma que na análise anterior, avaliar os resultados. Buscando referências internacionais de emissão de fumaça preta, serão realizadas as mesmas análises com o banco de dados do Programa EngenhAR frente as legislações do estado da Califórnia (EUA) e Reino Unido. A escolha das legislações internacionais citadas se deve ao histórico de graves problemas ambientais vinculados à poluição atmosférica e por estarem situados nos EUA e Europa, respectivamente, considerados referências mundiais no que diz respeito à normas de emissão de poluentes.

Cabe destacar que não será realizado um detalhamento dos resultados nas análises a seguir, como apresentado para o Programa EngenhAR, uma vez que os resultados

tendem a ser similares, alterando, como um todo, o percentual de aprovação e reprovação das medições, de acordo com uma maior ou menor restrição dos parâmetros de opacidade adotados.

Além disso, ao longo deste subitem, serão apresentados os resultados das simulações (percentuais de aprovação e reprovação) das medições de opacidade da fumaça frente aos requisitos legais citados, sendo que no subitem 4.2.5 os mesmos serão discutidos.

4.2.1 Análise das medições baseada nos parâmetros da Resolução CONAMA 418/2009

Conforme mencionado no Capítulo 3, a Resolução CONAMA 418/2009 é a legislação em vigor no Brasil que determina os limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso. Para os veículos do ciclo Diesel que não possuem os limites de opacidade definidos pelo fabricante, deverão ser utilizados os parâmetros descrito na referida legislação. Para os veículos fabricados anteriormente a 1996, a resolução faz distinção de limite máximo de opacidade entre os tipos de motores, Naturalmente Aspirado ou Turboalimentado com LDA e Turbo alimentado. Como no Programa EngenhAR não foram feitas distinções entre os dois tipos de motores, consideraram-se os limites mais restritivos nessa simulação, sendo esses referentes aos Naturalmente Aspirado ou Turboalimentado com LDA. As Tabelas 6 e 7 (Capítulo 3) apresentam os limites máximos de opacidade em aceleração livre de veículos de acordo com a Resolução CONAMA 418/2009.

Para a análise das medições considerando os parâmetros definidos na Resolução CONAMA 418/2009, foram retiradas da base de dados do Programa EngenhAR as medições realizadas em máquinas. As 1.488 medições de veículos foram utilizadas, sendo ajustado o limite máximo da opacidade da fumaça de acordo com o ano de fabricação, conforme definido na referida resolução. Cruzou-se, então, os resultados obtidos no programa com os limites da resolução, onde verifica-se que 1.271 medições atendem aos parâmetros de opacidade, enquanto 216 os extrapolam. Dessa forma, 85% das medições realizadas são aprovadas e 15% são reprovadas (Figura 41).

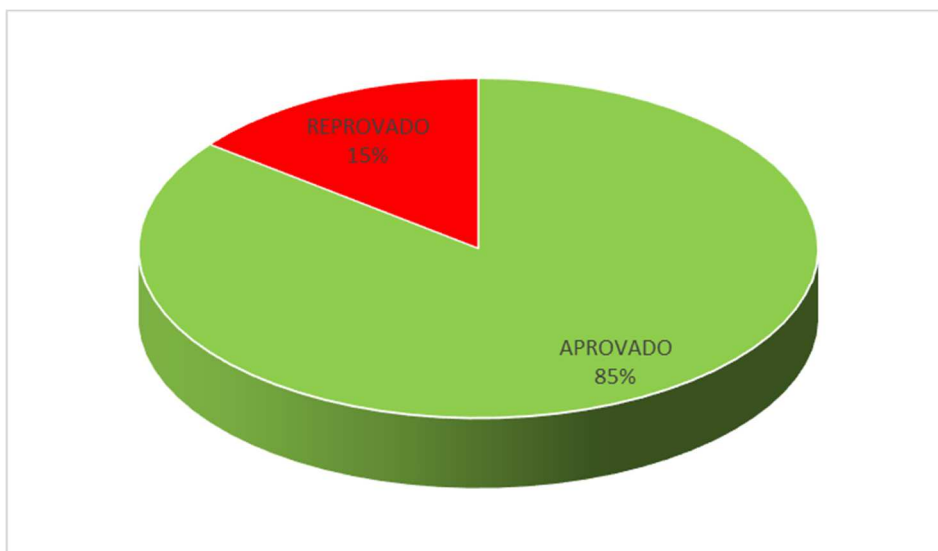


Figura 41 – Resultados das medições de opacidade da fumaça com base nos limites da Resolução CONAMA 418/2009

4.2.2 Análise das medições baseada nos valores de porta dos veículos

Os motores diesel passaram a ser homologados e certificados quanto ao índice de fumaça (opacidade) em aceleração livre, através do procedimento de ensaio descrito na norma ABNT NBR 13037, conforme citado no Capítulo 3.

De acordo com a Resolução CONAMA 418/2009, os limites máximos de opacidade em aceleração livre a serem atendidos pelos veículos automotores do Ciclo Diesel, *a priori*, são aqueles estabelecidos e certificados pelos fabricantes.

Para realizar a análise das medições de opacidade aprovadas e reprovadas utilizando como referência os valores da opacidade estabelecido pelos fabricantes dos veículos (valor de porta), expurgou-se da amostra dos dados do Programa EngenhAR todas as medições de máquinas. Além disso, excluiu-se as medições dos veículos de fabricação anterior a 1995, uma vez que o valor de porta passou a se tornar obrigatório somente para os veículos fabricados a partir de 1996. Retirou-se também da amostra as medições que possuíam como parâmetro de referência de opacidade os valores estabelecidos pelo EngenhAR ($1,54 \text{ m}^{-1}$ e $2,08 \text{ m}^{-1}$), pois os mesmos foram utilizados nos veículos que não possuíam a etiqueta do valor de porta afixado no momento da medição.

Dessa forma, a análise de medições aprovadas e reprovadas baseada nos valores de porta contou com uma amostra de 947 avaliações. Das opacidades estabelecidas pelos fabricantes, a mínima foi de $0,45 \text{ m}^{-1}$ e a máxima de $2,23 \text{ m}^{-1}$. Esta última foi realizada em local situado 350 m acima do nível do mar, sendo efetuada sua correção, uma vez que o valor original estabelecido pelo fabricante é equivalente a $1,65 \text{ m}^{-1}$. Esse também é o maior valor de porta quando considerada a opacidade ao nível do mar. Vale destacar, que 50% dos valores de porta verificados estavam situados na faixa de $0,88 \text{ m}^{-1}$ a $1,35 \text{ m}^{-1}$ (Figura 42).

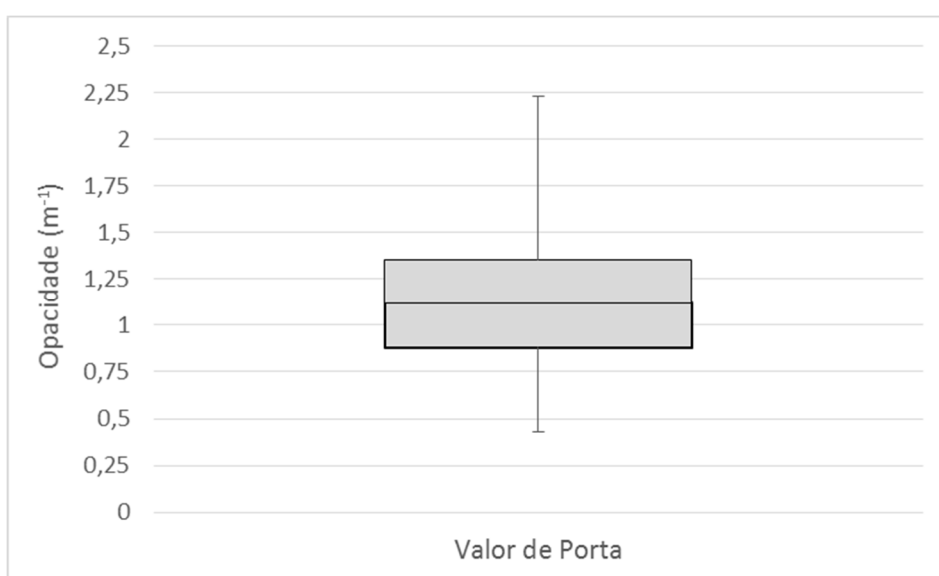


Figura 42 – Variação dos valores de porta dos veículos avaliados

A Figura 43 apresenta o resultado das medições aprovadas e reprovadas utilizando como parâmetro de opacidade da fumaça os valores estabelecidos pelos fabricantes. Das 947 medições, 695 estavam dentro dos limites permitidos, enquanto 252 excediam os mesmos. Isso é equivalente a um percentual de medições aprovadas de 73% e reprovadas de 27%.

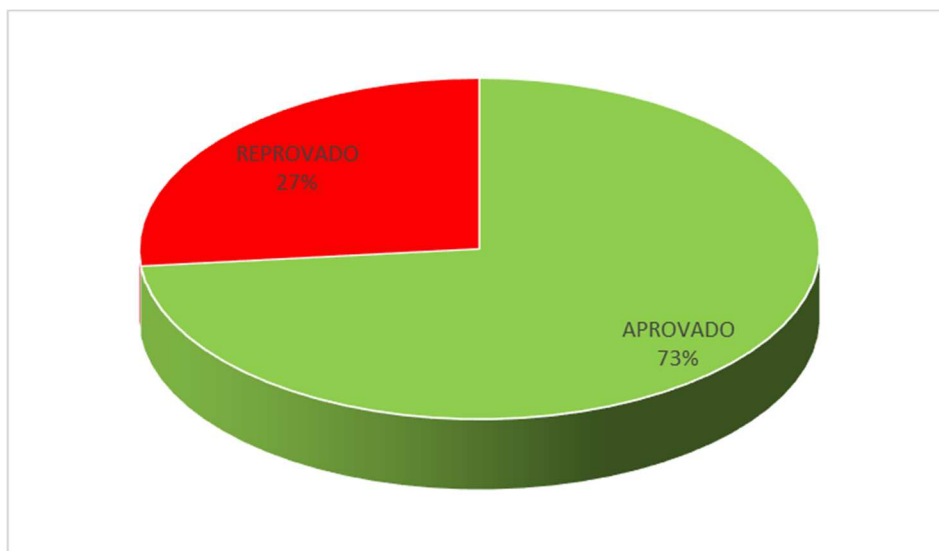


Figura 43 – Resultados das medições de opacidade da fumaça com base nos valores de porta

4.2.3 Análise das medições baseada na legislação da Califórnia (EUA)

O estado da Califórnia nos Estados Unidos da América é conhecido por possuir rigorosa legislação ambiental e, por este motivo, é tido como *benchmarking* em muitos padrões de emissão de poluentes. Para realizar uma comparação entre os padrões de fumaça preta estabelecidos na legislação brasileira e californiana, utilizou-se como base a *California Code of Regulation* (COAL, 2016). Em seu Título 13 (*Motor Vehicles*), Divisão 3 (*Air Resources Board*), Capítulo 3.5 (*Heavy-Duty Diesel Smoke Emission Testing and Heavy-Duty Vehicle Emission Control System Inspections*) ficam estabelecidos os limites de opacidade da fumaça de 40% para veículos fabricados a partir de 1991 e 55% para veículos fabricados antes de 1991. Como os dados do EngenhAR, a Resolução CONAMA 418/2009 e as análises realizadas neste estudo utilizam como parâmetro a densidade da fumaça ou coeficiente de absorção da luz (k), faz-se necessário converter os parâmetros estabelecidos na *California Code of Regulation*. Para tanto, utiliza-se a equação de *Beer-Lambert* (Equação 3).

$$k = -\left(\frac{1}{L}\right) \cdot \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde,

k: densidade da fumaça ou coeficiente de absorção da luz (m^{-1});

L: comprimento efetivo da trajetória da luz através do gás (m);

N: opacidade (%).

Na conversão da opacidade, considerou-se L igual a 0,43 m, uma vez que esta é a dimensão do comprimento efetivo da trajetória da luz através do gás nos opacímetros utilizados nas avaliações. Ao converter as opacidades de 40% e 55%, obtém-se os coeficientes de absorção da luz equivalente a $1,19 m^{-1}$ e $1,86 m^{-1}$, respectivamente (Tabela 12). Cabe destacar que a referida legislação não exige correções da opacidade no caso de medições realizadas em altitudes elevadas, como é solicitado na Resolução CONAMA 418/2009.

Tabela 12 – Padrões de opacidade da fumaça e coeficientes de absorção da luz de acordo com o Título 13 da *California Code of Regulation*

Ano	N (%)	k (m^{-1})
1990 e anteriores	55	1,86
1991 e posteriores	40	1,19

Utilizando o mesmo banco de dados da análise do item 4.2.1, ou seja, 1.488 medições, para comparação com os padrões do Título 13 da *California Code of Regulation*, verifica-se que 1.095 (74%) das medições encontram-se com a opacidade da fumaça dentro dos limites, enquanto 393 (26%) das medições excedem (Figura 44).

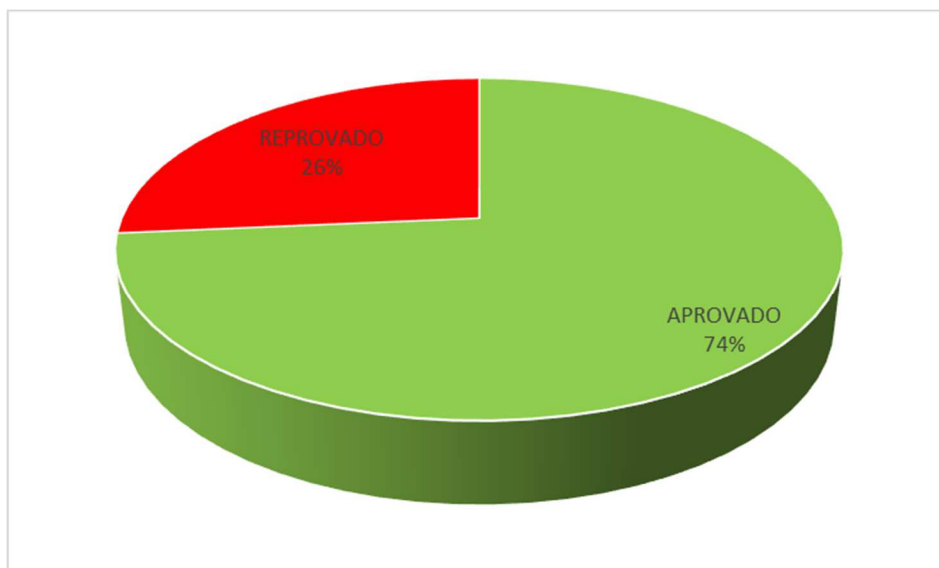


Figura 44 – Resultados das avaliações das medições de opacidade da fumaça com base nos padrões da *California Code of Regulation (Title 13)*

4.2.4 Análise das medições baseada nos padrões do Reino Unido

Por último, em se tratando de análises das medições de opacidade da fumaça com base em padrões diferentes daqueles estabelecidos na Resolução CONAMA 418/2009, serão realizadas avaliações dos resultados das medições utilizadas no item 4.2.1 frente aos parâmetros estabelecidos no *Heavy Goods Vehicle Safety Standards Service Inspection Manual* (2013) da *Driver and Vehicle Standards Agency* do Reino Unido. A Tabela 13 apresenta os padrões de opacidade da fumaça do referido manual.

Tabela 13 – Padrões de opacidade da fumaça de acordo com o *Heavy Goods Vehicle Safety Standards Service Inspection Manual*

Ano	k (m ⁻¹)
2008 e anteriores	2,50
2009 e posteriores	1,50

Os resultados da avaliação apontam que das 1.488 medições, 1.261 (85%) encontram-se com a opacidade da fumaça dentro dos limites estabelecidos pelo *Heavy*

Goods Vehicle Safety Standards Service Inspection Manual, enquanto 227 (15%) foram reprovados para tais limites (Figura 45).

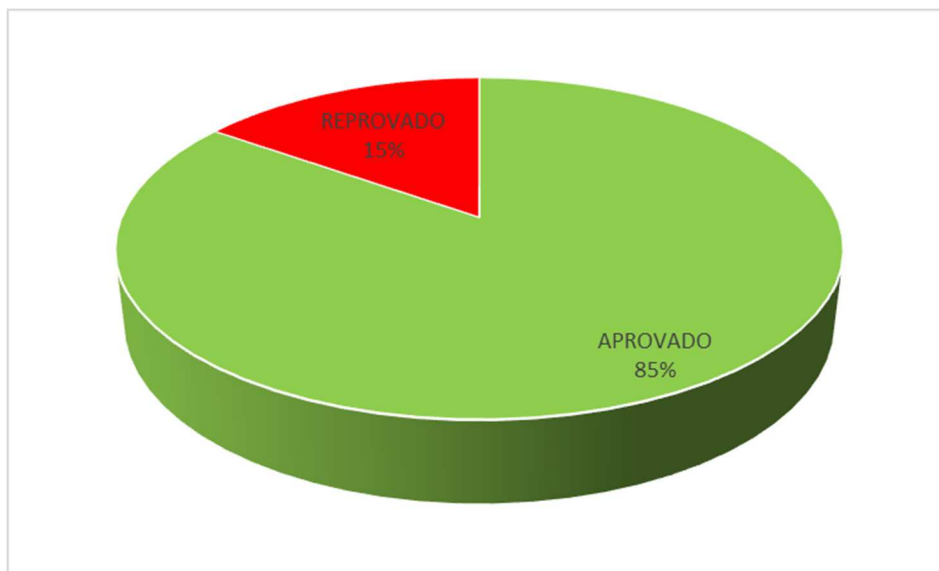


Figura 45 – Resultados das avaliações das medições de opacidade da fumaça com base nos padrões do *Heavy Goods Vehicle Safety Standards Service Inspection Manual*

4.2.5 Discussão dos resultados das análises de fumaça preta frente a legislação

A legislação ambiental, tanto brasileira, quanto internacional, avançou significativamente nas últimas décadas. Em especial, a legislação que trata da emissão de fumaça preta segue a mesma tendência, sendo possível verificar que a partir da década de 1990, os padrões começaram a ficar cada vez mais restritivos. Contudo, ainda é possível verificar uma grande variação de limites de emissão de fumaça preta estabelecidos entre os diferentes países, que podem variar de $0,52 \text{ m}^{-1}$, como é caso do limite dos veículos pesados do Ciclo Diesel turboalimentados no estado do Colorado (EUA), a $3,0 \text{ m}^{-1}$, como os turboalimentados na Europa. Outro fator importante a ser destacado é o estabelecimento da definição de veículo ecológico avançado (VEA), para aqueles movidos por um motor que respeita determinados valores-limite de emissão estabelecidos em homologação, sendo $0,15 \text{ m}^{-1}$ o limite definido para opacidade. Já o estado de Ontário no Canadá permite que veículos do Ciclo Diesel sejam liberados da obrigatoriedade de realizar a inspeção anual do ano seguinte, quando o resultado da medição realizada for

abaixo de $0,52 \text{ m}^{-1}$. Na China, províncias como Guangdong e cidades como Beijing, adotam padrões de emissão de fumaça mais restritivos que aquele estabelecido nacionalmente. Realizando uma análise dos limites de emissão fumaça preta da Resolução CONAMA 418/2009 com os demais limites mundiais, verifica-se que a opacidade requerida, ao nível do mar, encontra-se entre $1,70 \text{ m}^{-1}$ e $2,10 \text{ m}^{-1}$, dependendo do ano de fabricação do veículo. Comparando esses parâmetros com os demais limites de opacidade analisados, percebe-se que esses valores são significativamente mais altos que aqueles estabelecidos pelos estados da Califórnia e Colorado nos EUA, Ontário no Canadá, pela cidade de Beijing e província de Guangdong na China e Europa (Euro IV e V), mas similares aos de Hong Kong e inferiores aos da Europa para os veículos Pré Euro IV. Contudo, cabe destacar que a Resolução CONAMA 418/2009 estabelece, primeiramente, para os veículos do Ciclo Diesel, que os valores máximos de opacidade em aceleração livre são os certificados e divulgados pelo fabricante. Considerando, então, somente os valores de porta identificados nos veículos analisados pelo Programa EngenhAR, verifica-se que os limites, ao nível do mar, variam de $0,45 \text{ m}^{-1}$ a $1,65 \text{ m}^{-1}$, valores similares aos padrões internacionais mais restritivos. A Tabela 14 apresenta os padrões nacionais e internacionais de opacidade da fumaça.

Tabela 14 - Padrões nacionais e internacionais de opacidade da fumaça

Requisito	Ano de Fabricação	Opacidade (m ⁻¹)
CONAMA 418/2009	1995 e anteriores	1,70**; 2,10***
	1996 a 1999	2,10
	2000 e posteriores	1,70
Valor de Porta	1996 e posteriores	0,45 - 1,65*
Reino Unido	2008 e anteriores	2,50
	2009 e posteriores	1,50
Ontário/Canadá	1990 e anteriores	1,86
	1991 e posteriores	1,19
China	-	1,06 a 2,26
China, Guangdong	Anteriores a setembro de 2001	1,86
	Setembro/2001 a setembro/2004	1,61
		1,34
	Posteriores a setembro de 2004	
China, Beijing	Anteriores a 2003	1,61
	Entre 2003 e 2005	1,19
	Posteriores a 2006	0,80
Europa	Pré Euro IV	2,50**
		3,00*** (turboalimentados)
	Euro IV, V e veículos elétricos	1,50
Hong Kong	-	1,61 e 2,13
EUA, Califórnia	1990 e anteriores	1,86
	1991 e posteriores	1,19
EUA, Colorado	-	0,52***
		1,00 **

*Variação dos valores de porta, estabelecidos pelos fabricantes, dos veículos avaliados pelo Programa EngenhAR.

** Naturalmente aspirado.

*** Turboalimentado

Fonte: Adaptado de ICCT, 2015

A análise das simulações realizadas com as medições de opacidade da fumaça obtidas no Programa EngenhAR frente aos valores de porta encontrados nos veículos e nas legislações da Califórnia (EUA), Reino Unido e a Resolução CONAMA 418/2009 mostra que os resultados de aprovação e reprovação apresentam certas similaridades. O percentual de aprovação e reprovação para os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 418/2009 e pela legislação do Reino Unido foram equivalentes a 85% e 15%, respectivamente. Por outro lado, as simulações realizadas frente aos valores de porta e a

legislação do estado da Califórnia (EUA) foram mais restritivas, apresentado aprovação de 73% e 74% respectivamente. Em virtude dos padrões de opacidade estabelecidos pelos valores de porta e na legislação do estado da Califórnia (EUA), esperava-se, naturalmente, que esses fossem mais restritivos (Tabela 15).

Tabela 15 – Resumo dos resultados das simulações realizadas com diferentes padrões de fumaça preta

Requisito	Aprovação (%)	Reprovação (%)
CONAMA 418/2009	85	15
Valor de Porta	73	27
Califórnia/EUA	74	26
Reino Unido	85	15

Analisando os dados apresentados na Tabela 14 e Tabela 15 é possível verificar que a Resolução CONAMA 418/2009 é pouco restritiva em relação aos padrões de emissão de fumaça preta, havendo, neste sentido, possibilidade de convergência dos padrões a níveis mais restritivos, assim como já vem sendo adotado em outros países.

Sousa (2010) realizou um estudo com 241 ônibus da cidade de Natal/RN, nos quais foram efetuados testes de opacidade da fumaça. Em virtude da ausência de manutenção preditiva na maioria das empresas, 49% dos ônibus foram reprovados nos parâmetros da Resolução CONAMA 418/2009.

No Brasil, outra iniciativa relevante que trata da aferição de fumaça preta em ônibus e caminhões movidos à Diesel é o Projeto Avaliação Veicular. Esse projeto, que tem como objetivo promover a melhoria da qualidade do ar e do uso racional de combustíveis, é integrante do Programa Ambiental do Transporte – Despoluir, criado em 2007 pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) e pelo Serviço Social do Transporte e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SEST SENAT). No período de 2007 a 2015, foram realizadas 1.506.432 aferições de opacidade da fumaça, sendo que 85,85% foram aprovadas nos parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA 418/2009 e Instrução Normativa IBAMA 06/2010. Somente no ano de 2015,

foram realizadas 270.843 aferições, onde 77,5% foram aprovadas (CNT; SEST SENAT, 2016). Se comparados os resultados apresentados pela simulação dos dados do Programa EngenhAR frente a Resolução CONAMA 418/2009 com os resultados totais do Programa Despoluir, percebe-se que os percentuais de reprovação são bem similares: 15% e 14%, respectivamente. Cabe destacar, contudo, que nas reprovações do Projeto Avaliação Veicular estão inclusas não somente aquelas relacionadas à ultrapassagem dos limites de opacidade de fumaça estabelecidos, mas também irregularidades verificadas na inspeção visual prévia, estabelecida pela Instrução Normativa IBAMA 06/2010.

Para verificar as emissões dos veículos do Ciclo Diesel, anualmente a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) emite o Relatório do Índice de não conformidade da Frota do Estado de São Paulo (CETESB, 2015a). Neste relatório, são apresentados os resultados das inspeções realizadas em todo estado de São Paulo, baseado no art. 32 do Decreto 8.468/1976 que estabelece:

“Art 32 – Nenhum veículo automotor de uso rodoviário com motor do ciclo diesel poderá circular ou operar no território do Estado de São Paulo emitindo poluente pelo tubo de descarga:

“I – com densidade colorimétrica superior ao padrão 2 da Escala de Ringelmann, ou equivalente, por mais de 5 (cinco) segundos consecutivos”;

Um dos critérios utilizados pela Cetesb é realizar as avaliações dando preferência às vias retilíneas e com aclive, para garantir que o motor esteja operando com o mínimo de carga necessária para uma avaliação segura do grau de enegrecimento da fumaça. Os resultados das inspeções realizadas apontam que na região metropolitana, de 2004 a 2014, o índice de não conformidade da frota girou em torno de 5% a 8%. Já no litoral e no interior do estado, de 2012 a 2014, os índices corresponderam a 2,3%, 2,3% e 2,9%, respectivamente. Vale destacar que, no ano de 2014, foram avaliados quase 68.000 veículos (CETESB, 2015a).

Assim como São Paulo, o estado do Ceará realiza anualmente, desde 1990, o Programa de combate à fumaça negra, o qual possui como objetivo efetuar o controle da

emissão de fumaça negra emitida pelos veículos automotores do ciclo Diesel. O programa segue a Portaria da SEMACE Nº 136/2007 que estabelece em seu artigo 2, inciso II, que:

“as pessoas físicas ou jurídicas cujos veículos apresentem índices de fumaça igual ou superior a 60% (sessenta por cento) da escala Ringelmann serão autuadas e multadas”.

Em 2012, foram vistoriados mais de 19.860 veículos, estando 738 veículos desconformes com os padrões de emissão de fumaça, o que corresponde a 3,7% do total.

Comparando os resultados das medições do Programa EngenhAR, Programa Despoluir, das simulações realizadas com os valores de porta e Resolução CONAMA 418/2009, todas com avaliações realizadas através de opacímetro digital, percebe-se que os percentuais de reprovações das medições de fumaça são bem superiores àquelas apresentadas nos relatórios dos programas dos estados de São Paulo e Ceará, as quais utilizam a metodologia da Escala Ringelmann. Uma das explicações para essa diferença pode ser obtida no estudo de Hardenberg e Busenthuer (1988), cujos autores verificaram a incapacidade humana de avaliar de forma confiável a intensidade da opacidade da fumaça emitida pelos veículos à Diesel, não apenas sob as condições desfavoráveis de rodovias, mas também em laboratório. No relatório do programa do estado de São Paulo, para minimizar erros nas avaliações, foram utilizados critérios como a não realização da avaliação em dias de chuva ou com pouca visibilidade, além do posicionamento adequado dos técnicos para evitar a incidência direta do sol nos olhos. Pontua-se ainda que fatores como a presença vento e a cor do anteparo atrás da fumaça podem atrapalhar a avaliação. Contudo, apesar da existência de um certo grau de subjetividade e do resultado ser expresso de forma qualitativa, a Escala Ringelmann é amplamente adotada entre os estados, sendo uma metodologia de fácil implementação e de baixo custo. Já o opacímetro digital, é um equipamento que fornece quantitativamente a opacidade medida, apresentando muita precisão quando comparada à Escala Ringelmann, porém o custo da aquisição do equipamento, a necessidade da calibração periódica por órgão certificador e uma infraestrutura básica, como acesso à energia, podem ser fatores limitantes para a adoção dessa metodologia.

De acordo com a *International Council on Clean Transportation* (2015), diversos países da Europa, EUA, China, Austrália, Canadá, entre outros, utilizam Programas de

Inspeção e Manutenção para fiscalizar os veículos pesados do Ciclo Diesel. Dentre os programas estudados, é possível verificar variações dos parâmetros avaliados, bem como de testes utilizados nessas inspeções. Nos programas de I/M analisados, todos realizam medição da opacidade da fumaça preta, sendo, em geral, mais utilizados os testes de aceleração livre ou *lug-down* (teste realizado em dinamômetro). A Tabela 16 apresenta informações de alguns dos programas de I/M adotados no exterior.

Tabela 16 – Programas de I/M adotados no exterior

Região	Veículos	Testes e Poluentes	Está programa de I/M considerando melhorias?
Austrália	Veículos Pesados à Diesel (Voluntário)	DT80 NO _x , MP e fumaça	Sim
Canadá, Ontário	Veículos Pesados à Diesel Peso Bruto > 3,86 t	Teste de beira de estrada Aceleração livre - opacidade da fumaça	O diagnóstico a bordo tem sido adicionado aos procedimentos de testes de I/M, somente como uma ferramenta de consulta, não tendo impacto sobre a aprovação / reprovação decisão
China	Veículos Pesados à Diesel	Aceleração livre - Opacidade da fumaça	Considerando atualizar os testes <i>lug down</i> com as medições de NO _x , além dos testes de opacidade da fumaça
China, Guangdong	Veículos Pesados à Diesel	<i>Lug down</i> - Opacidade da fumaça	-
China, Beijing	Veículos Pesados à Diesel	<i>Lug down</i> - Opacidade da fumaça	-
Europa	Veículos Pesados à Diesel	Aceleração livre - Opacidade da fumaça	Se expande de testes de opacidade da fumaça para testes MP e inclui medições de NO e NO ₂ . Recomenda a inclusão de diagnóstico de bordo.
Hong Kong	Veículos Pesados à Diesel e veículos enfumaçados	Todos os veículos: Aceleração livre - opacidade da fumaça Veículos enfumaçados: <i>Lug down</i>	Estão sendo discutidas mudanças de procedimentos de testes de I/M que podem cobrir Euro IV e veículos posteriores

Região	Veículos	Testes e Poluentes	Está programa de I/M considerando melhorias?
EUA, Califórnia	Veículos Pesados à Diesel Peso Bruto <= 6,35 t Veículos Pesados à Diesel Peso Bruto <= 6,35 t	Teste de beira de estrada Aceleração livre - opacidade da fumaça - e diagnóstico a bordo	ARB está analisando novos métodos para incluir NO _x na I/M
EUA, Colorado	Veículos Pesados à Diesel Peso Bruto > 3,86 t	Grandes frotas: aceleração livre Pequenas frotas: <i>lug down</i>	-

Fonte: Adaptado de ICCT, 2015

Além da importância da manutenção periódica, os filtros dos escapamentos são elementos essenciais para a redução da emissão de material particulado para o meio ambiente. Os autores de um estudo realizado em Portugal testaram quatro tipos de filtros de particulado de Diesel em 12 veículos pesados do Ciclo Diesel de modelos fabricados de 1992 a 1999. Foram realizadas medições de opacidade da fumaça em aceleração livre antes e após a instalação dos filtros para verificar a eficiência desses dispositivos denominados de *end-of-pipe*. Os resultados apontaram para uma redução média de 92% da opacidade da fumaça emitida, sendo esses filtros importantes mecanismos, de fácil implementação e baixo custo, para a redução da emissão de material particulado. Além de melhorarem a qualidade do ar, principalmente nas grandes cidades, os filtros de particulado de Diesel são grandes aliados às frotas que conseguem atender aos parâmetros estabelecidos na legislação (TENTE et al, 2011).

Outro dispositivo, como já citado anteriormente, que auxiliará os motoristas na identificação do mau funcionamento dos sistemas de controle de emissão dos veículos, é o OBD, que passou a ser adotado no Brasil a partir da fase P-7 do PROCONVE. Os I/M poderão utilizar os dados do OBD para complementar a avaliação dos veículos, como é o caso do estado de Ontário no Canadá.

5. Conclusões e Recomendações

Para minimizar os efeitos da poluição no meio ambiente e na saúde da população, as legislações ambientais no Brasil e no mundo, em especial, aquelas relacionadas aos poluentes de origem veicular, sofreram diversas alterações, tornando-se mais restritivas. Dessa forma, a indústria automobilística buscou o desenvolvimento tecnológico através de motores mais eficientes, sistemas de pós-tratamento de gases e sistemas de diagnóstico de bordo. Atrelado a isso, foram elaborados combustíveis menos poluentes, biocombustíveis, combustíveis com menores teores de enxofre, misturas de combustíveis, entre outros.

No Brasil, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores –PROCONVE foi instituído através da Resolução CONAMA 18/1986, sendo um dos instrumentos do Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR. Já a Resolução CONAMA 418/2009 é uma das principais ferramentas legais no âmbito da regulamentação das emissões dos veículos em uso. Além de estabelecer critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos ambientais competentes, a referida resolução determina os limites de emissão e os procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso. Dentre os limites de emissão, destacam-se aqueles vinculados à opacidade da fumaça emitida por veículos movidos a motores Diesel.

O estudo de caso exposto ao longo dessa dissertação apresentou a análise da emissão de fumaça preta de veículos e máquinas em obras de construção e montagem industrial no Brasil coletados ao longo do Programa de Educação Ambiental de Engenharia da Petrobras – EngenhAR. De 2010 a 2014, o Programa EngenhAR realizou 1.963 avaliações de fumaça com opacímetro digital, das quais 76% foram realizadas em veículos e 24% em máquinas. A maioria das medições (75%) foram classificadas como ótimo ou bom, de acordo com os limites de opacidade de fumaça utilizados pelo EngenhAR. As demais medições (25%) foram reprovadas, sendo classificadas como ruim e muito ruim. Ao longo do programa, à medida que eram identificados veículos e máquinas irregulares, os motoristas eram orientados a encaminhá-los para manutenção.

Ao longo de 2010 a 2014, há uma tendência de aumento das aprovações das medições de opacidade da fumaça. Um dos fatores que pode ter favorecido esse resultado é a entrada do Óleo Diesel S-10 no Brasil em 2013, combustível que pode reduzir até 80% das emissões de MP dos veículos (PETROBRAS, 2016a). Contudo, em virtude da diminuta amostra nos anos de 2013 e 2014, bem como pelo curto espaço amostral do programa, não é possível afirmar que a gestão da fumaça preta nas obras, de fato, foi aprimorada pelo Programa EngenhAR.

O valor das opacidades medidas tanto para veículos, quanto para máquinas, variou de 0,00 a 9,99 m^{-1} , limites inferior e superior do opacímetro digital. Com relação às médias e medianas, nota-se que foram mais baixas (0,98 m^{-1} e 0,68 m^{-1}) para os veículos, quando comparadas às máquinas (1,36 m^{-1} e 1,04 m^{-1}). Esse resultado pode estar atrelado à existência de legislação relacionada à emissão de fumaça preta somente para veículos.

O EngenhAR realizou medições da opacidade da fumaça em 12 estados do País, sendo que 74% foram realizadas nos estados do Rio de Janeiro (32%), Pernambuco (30%) e São Paulo (12%), uma vez que a maioria das obras da Petrobras, no período em questão, estavam concentrados nesses estados.

Comparando-se a idade do veículo e máquina com a opacidade emitida, não foi possível constatar uma boa correlação, pois o coeficiente de determinação ficou abaixo de 0,16. Através dos resultados, evidenciou-se que alguns veículos e máquinas novos apresentaram desempenho ruim quanto à opacidade da fumaça, enquanto algumas medições de veículos e máquinas com quase 25 anos de fabricação tiveram como resultado opacidades menores que 1 m^{-1} . Dessa forma, pode-se inferir que a manutenção tem papel fundamental na emissão de fumaça preta, já que um equipamento novo, sem manutenção, pode estar desregulado, com peças danificadas, e dessa forma, poderá emitir mais poluentes para a atmosfera, quando comparado a um equipamento antigo com a manutenção realizada.

Com relação à avaliação realizada sobre os veículos abrangidos na fase P-7 do PROCONVE, foi possível verificar que mais de 93% das medições de opacidade da fumaça foram aprovadas. Dessa forma, fica evidente que a tecnologia desses veículos atrelada ao novo Óleo Diesel, S-10, comercializado no Brasil a partir de 2013, resultam em emissões de fumaças de menor opacidade, menos poluentes. A opacidade média da

fumaça emitida por esses veículos girou em torno de $0,41 \text{ m}^{-1}$, enquanto a média do Programa EngenhAR para veículos foi de $0,98 \text{ m}^{-1}$, ou seja, 58% menor.

A segunda etapa deste estudo avaliou os parâmetros de fumaça preta estabelecidos na Resolução CONAMA 418/2009 frente à legislação internacional. É possível verificar uma grande variação de limites de emissão de fumaça preta entre diferentes países, que vão desde $0,52 \text{ m}^{-1}$, como é caso do limite dos veículos pesados do Ciclo Diesel turboalimentados no estado do Colorado (EUA), até $3,0 \text{ m}^{-1}$, como os turboalimentados na Europa (Pré Euro IV). Também nesse continente, há iniciativas como o estabelecimento da definição do que pode ser considerado como veículo ecológico avançado (VEA), ou seja, aqueles movidos por um motor que respeite determinados valores limites de emissão estabelecidos em homologação, que no caso da opacidade é de $0,15 \text{ m}^{-1}$. Já no estado de Ontário no Canadá, por exemplo, há permissão para veículos do Ciclo Diesel serem desobrigados a realizar a inspeção do ano seguinte, quando o resultado no ano da medição ficar abaixo de $0,52 \text{ m}^{-1}$.

Os limites de fumaça preta definidos na Resolução CONAMA 418/2009, ao nível do mar, encontram-se entre $1,70 \text{ m}^{-1}$ e $2,10 \text{ m}^{-1}$, dependendo do ano de fabricação do veículo, sendo considerados pouco restritivos quando comparados aos parâmetros dos estados da Califórnia e Colorado nos EUA e Ontário no Canadá. Contudo, a resolução estabelece que primeiramente, para os veículos do ciclo Diesel, os valores máximos de opacidade em aceleração livre sejam aqueles certificados e divulgados pelo fabricante. Considerando, então, somente os valores de porta identificados nos veículos analisados pelo Programa EngenhAR, verifica-se que os limites, ao nível do mar, variam de $0,45 \text{ m}^{-1}$ a $1,65 \text{ m}^{-1}$, valores similares aos dos países com limites mais restritivos.

Analisando os resultados do banco de dados das medições do Programa EngenhAR, verifica-se que o percentual de aprovação e reprovação para os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 418/2009 e pela legislação do Reino Unido foram equivalentes a 85% e 15%, respectivamente. Por outro lado, as simulações realizadas frente aos valores de porta e a legislação do estado da Califórnia (EUA) foram mais restritivas, apresentando aprovação de 73% e 74%.

Outra constatação, a partir dos resultados obtidos, diz respeito à diferença dos percentuais de aprovação e reprovação encontrados quando medidos por metodologias de análise diversas. Os órgãos ambientais dos estados de São Paulo e Ceará realizam

inspeções de fumaça preta através da Escala Ringelmann e os resultados de reprovação são bem inferiores quando comparados aos resultados dos programas que utilizam o opacímetro digital.

Por fim, analisando os programas de inspeção e manutenção desenvolvidos em diversos países, nota-se que todos realizam medição da opacidade da fumaça preta, sendo, no geral, mais utilizados os testes de aceleração livre ou *lug-down*. Sendo assim, as práticas adotadas no Brasil estão alinhadas ao que vem sendo utilizado em outros países. Algumas melhorias nos testes de I/M já vêm sendo implementados no exterior, como é o caso da utilização dos dados do OBD para complementar a avaliação dos veículos. No Brasil, o OBD passou a ser adotado a partir da implementação da fase P-7 do PROCONVE, portanto, nos próximos anos, essa ferramenta também poderá ser utilizada nos I/M.

Diante do estudo apresentado e dos resultados obtidos, propõem-se algumas sugestões de futuros estudos:

- proposta de revisão dos limites de opacidade da fumaça estabelecidos na Resolução Conama 418/2009, visando uma convergência aos parâmetros internacionais mais restritivos e adequação frente às novas tecnologias, em especial, para os veículos da fase P-7 do PROCONVE;
- ampliação do banco de dados de medições de opacidade da fumaça de máquinas para identificar níveis sustentáveis de emissão de fumaça preta, propondo parâmetros de emissão para esta categoria;
- verificação da emissão de fumaça preta em equipamentos estacionários, como geradores e compressores, uma vez que são fontes de poluição que também não possuem regulamentação quanto às emissões de fumaça preta.

Em termos de recomendações, propõem-se:

- revisão da legislação brasileira que versa sobre fumaça preta, para restringir a utilização da Escala Ringelmann, sempre que viável, por técnicas mais precisas, como o opacímetro;
- criação de incentivos à indústria automobilística brasileira para fabricação de veículos de baixa emissão de poluentes, como já vem sendo realizado na Europa através dos veículos ecológicos avançados;

- potencialização de cooperações entre a academia e o setor privado, buscando maximizar resultados para a sociedade brasileira.

6. Bibliografia

ARIOTTI, P. Método para aprimorar a estimativa de emissões veiculares em áreas urbanas através de modelagem híbrida em redes. 2010. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21922/000737699.pdf?sequence=1>> . Acesso em: 14 de março de 2016.

ANDRADE, M. F. et al. Vehicle emissions and PM_{2,5} mass concentrations in six Brazilian cities. *Air Quality, Atmosphere & Health*, Volume 5, Issue 1, pp 79-88, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7027. Veículos rodoviários automotores - Fumaça emitida por motor diesel - Determinação da opacidade ou do grau de enegrecimento em regime constante. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12897. Emprego do opacímetro para medição do teor de fuligem de motor Diesel – Método de absorção de luz. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13037. Veículos rodoviários automotores - Gás de escapamento emitido por motor diesel em aceleração livre - Determinação da opacidade. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). Anuário da Indústria Automobilística Brasileira – 2015. São Paulo. 2015.

BRAGA et al. Introdução à Engenharia Ambiental. 2ª Edição. São Paulo. Pearson Prentice Hall. 2005

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME; Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014. Rio de Janeiro, 2015.

BRASIL. Instrução Normativa nº 06, de 8 de julho de 2010. Estabelece os requisitos técnicos para regulamentar os procedimentos para avaliação do estado de manutenção dos veículos em uso. Disponível em: <<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKewji2LfnkJLNAhUIWCYKHURiB2IQFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.iba>

ma.gov.br%2Fphocadownload%2Fcategory%2F4%3Fdownload%3D186%253A6-8-2010&usg=AFQjCNE6uoVP_otr3V8jYmgFUdyLzSNsdA&sig2=X1rmwLYL2TyngM6ogh7-ZA&bvm=bv.123664746,d.eWE>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2016.

BRASIL. Instrução Normativa IBAMA nº 6, de 06 de abril de 2015. Dispõe sobre a obtenção da "Licença para Uso da Configuração de Veículo ou Motor (LCVM)" por Máquinas Agrícolas ou Rodoviárias (MAR) novas e os seus motores, nacionais ou importados, junto ao Programa de Controle da Poluição do ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Disponível em:

<<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=17/04/2015&jornal=1&pagina=188&totalArquivos=384>>. Acesso em: 31 de março de 2016.

BRASIL. Portaria IBAMA nº 85, de 17 de outubro de 1996. Dispõe sobre a criação e adoção de um Programa Interno de Auto Fiscalização da Correta Manutenção da Frota, quanto a Emissão da Fumaça Preta, por empresa que possuem frota própria de transporte de carga ou de passageiro, cujos veículos são movidos a óleo diesel. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=181449>>. Acesso em: 03 de abril de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/legiabre.cfm?codlegi=100>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 16, de 13 de dezembro de 1995. Dispõe sobre os limites máximos de emissão de poluentes para os motores destinados a veículos pesados novos, nacionais e importados, e determina a homologação e certificação de veículos novos do ciclo Diesel quanto ao índice de fumaça em aceleração livre. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/legiabre.cfm?codlegi=194>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/legiabre.cfm?codlegi=41>>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 403, de 11 de novembro de 2008. Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

– PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/legiabre.cfm?codlegi=591>>. Acesso em: 26 de março de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 418, de 25 de novembro de 2009. Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/legiabre.cfm?codlegi=618>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA 433, de 13 de julho de 2011. Dispõe sobre a inclusão no Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE e estabelece limites máximos de emissão de ruídos para máquinas agrícolas e rodoviárias novas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/legiabre.cfm?codlegi=654>>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2016.

CALIFORNIA OFFICE OF ADMINISTRATIVE LAW (COAL). *California code of regulation (Title 13)*. Disponível em: <http://www.arb.ca.gov/enf/hdvp/ccr_title_13_hdvp.pdf>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2016.

CEARÁ. Portaria n° 136, de 23 de julho de 2007. Estabelece novos critérios para a execução do Programa FUMAÇA NEGRA de prevenção, controle e recuperação da qualidade do ar, assim como expandi-lo para todo o território do Estado do Ceará, objetivando à adequação dos veículos automotores do ciclo diesel aos padrões ambientais em vigor. Disponível em: <http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=426>. Acesso em: 02 de abril de 2016.

CENTRO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL DA REPARAÇÃO AUTOMÓVEL (CEPRA). Análise de Gases de Escape e Opacidade. Coleção Formação Modular Automóvel. 1ª Edição. Lisboa, Portugal. 2000. Disponível em: <<http://opac.iefp.pt:8080/images/winlibimg.aspx?skey=&doc=69170&img=917>>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2016.

COMPANHIA ESTADUAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Índice de não conformidade da Frota do Estado de São Paulo. São Paulo, 2015a. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/35/2013/12/relatorio-indice-nao-conformidade-frota-diesel-2014.pdf>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2016.

COMPANHIA ESTADUAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Poluentes Atmosféricos. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/poluentes/>>. Acesso em: 24 de outubro de 2015b.

COMPANHIA ESTADUAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Qualidade do ar no estado de São Paulo 2015. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 14 de março de 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT) E DO SERVIÇO SOCIAL DO TRANSPORTE E SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM DO TRANSPORTE (SEST SENAT). Programa Ambiental do Transporte – Despoluir. Disponível em: <<http://www.cntdespoluir.org.br/Paginas/Resultados.aspx>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). Frota de veículos – 2015. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>>. Acesso em: 15 de outubro de 2015.

DRIVER AND VEHICLE STANDARDS AGENCY – UNITED KINGDOM. Heavy Goods Vehicle Safety Standards Service Inspection Manual (2013). Acesso em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/453281/heavy-goods-vehicle-hgv-inspection-manual-oct-2015.pdf>. Acesso em: 13 de dezembro de 2015.

GIECHASKIEL, B. et al. Review of motor vehicle particulate emissions sampling and measurement: From smoke and filter mass to particle number. *Journal of Aerosol Science* 67, p. 48–86, 2014.

HARDENBERG, H. O.; BUSENTHUER, B. B. Subjective Rating of Black Smoke Emissions and Objective Measurement of Exhaust Gas Opacity. SAE Technical Paper 880349, 1988.

HABERMANN, M; MEDEIROS, A. P. P.; GOUVEIA, N. Tráfego veicular como método de avaliação da exposição à poluição atmosférica nas grandes metrópoles. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, vol.14, n° 1, São Paulo, 2011.

HOINASKI, L. Avaliação de métodos de identificação de fontes emissoras de material particulado inalável (MP₁₀). 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103289/280294.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2016.

INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION (ICCT). Review of current practices and new developments in heavy-duty vehicle inspection and maintenance programs. Washington, EUA. 2015. Disponível em: <<http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/HDV%20insp-maint%20White%20Paper%20v2.pdf>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2016.

LAPUERTA, M; BALLESTEROS, R., FERNÁNDEZ, J. R; Thermogravimetric analysis of diesel particulate matter. *Measurement Science and Technology*, Volume 18, Número 3, 650–658, 2007.

MACHADO, P. A. L. *Direito Ambiental Brasileiro*. 11ª Edição. São Paulo: Malheiros, 2010.

MARICQ, M. M. Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. *Aerosol Science*, volume 38, p. 1079 – 1118, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 – Ano Base: 2012. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Qualidade do Ar. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar>>. Acesso em: 20 de outubro de 2015.

NAPRO ELETRÔNICA INDUSTRIAL LTDA. Manual de Instalação e Operação – Analisador de Opacidade NA-9000E. 2010.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). World Health Assembly closes, passing resolutions on air pollution and epilepsy. Disponível em:

<<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/wha-26-may-2015/en/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2015.

PEREIRA JÚNIOR, J. S. Legislação brasileira sobre poluição do ar. Câmara dos Deputados. Brasília, 2007. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/1542/legislacao_poluicao_ar_jo se_pereira.pdf?sequence=4>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2016.

PRETRÓLEO BRASILEIRO S.A (PETROBRAS). Perguntas mais frequentes. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/b4f3cb004de479c08eaa7f73cb9b3dc7/perguntas-frequentes-S-10.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 05 de março de 2016a.

PRETRÓLEO BRASILEIRO S.A (PETROBRAS). Plano de Negócios e Gestão 2015 – 2019. Disponível em: <<http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/apresentacoes/plano-de-negocios-e-gestao>>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2016b.

PROGRAMA NACIONAL DA RACIONALIZAÇÃO DO USO DOS DERIVADOS DO PETRÓLEO E DO GÁS NATURAL (CONPET). Folheto Institucional CONPET. Disponível em: <<http://www.conpet.gov.br>>. Acesso em: 19 de janeiro de 2016.

RAO, P. C.; PEARCE, T. C. Black smoke emissions and fuel consumption. CODA TU VII Conference on Urban Transport and Integrated Development, New Delhi, 1996.

SÃO PAULO. Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>> . Acesso em: 02 de abril de 2016.

SOUSA, E. H. V. Análise preditiva a partir da caracterização das emissões gasosas e de óleo lubrificante em frotas com motorização a Diesel. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2010.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SEMACE). Avaliação do Programa de Combate à Fumaça Negra – Ano 2012. 2013. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2010/10/RELAT%C3%93RIO-Anual-fuma%C3%A7a-negra-final2.pdf>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2016.

TOLEDO, G. I. F. M; NARDOCCI, A. C. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. Revista Brasileira de Epidemiologia, vol.14, n° 3, São Paulo, 2011.

TENTE, H. et al. Evaluating the efficiency of Diesel Particulate Filters in high-duty vehicles: Field operational testing in Portugal. Atmospheric Environment, volume 45, p. 2623 – 2629, 2011.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Particulate Matter. Disponível em: <<http://www3.epa.gov/airquality/particlepollution/basic.html>>. Acesso em: 21 de outubro de 2015.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Air Quality Criteria for Particulate Matter. 2004 (EPA/600/P-99/002aF). 900p.

WILSON, W. E.; SUH, H. H. Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. J. Air Waste Manage. Assoc. 47: 1238-1249, 1997.

PEILIANG ZHANG, J. S. Owner organization design for mega industrial construction projects. International Journal of Project Management. Vol 29. Pág. 828–833, 2011.

7. Anexo

Anexo 1

FICHA DE AVALIAÇÃO MEDIÇÕES DA OPACIDADE DA FUMAÇA PRETA					
Data:		Horário:		N°	
1. IDENTIFICAÇÃO					
Unidade Organizacional:		Obra / Empresa:		Placa	
Motorista / Operador:		Reavaliação: SIM ()			
2. DADOS TÉCNICOS DO VEÍCULO					
Ano:		Marca:		Tamanho: () 2 eixos () 3 eixos () + de 3 eixos	
Tipo de máquina:					
3. RESULTADO DA MEDIÇÃO DE OPACIDADE "km⁻¹"					
3.1 ALTITUDE MENOR QUE 350 M					
Opacidade requerida: Valor de Porta (VP):					
Valor de K OPACIDADE	Opacidade requerida	ÓTIMO	BOM	RUIM	MUITO RUIM
	Até 1995	<= 1,00	1,01 a 1,69	1,70 a 2,53	> 2,54
	A partir de 1996	<= 0,91	0,92 a 1,54	1,55 a 2,31	> 2,32
	Valor de porta	<= (VP x 0,60)	> (VP x 0,60) a VP	> VP a (VP x 1,5)	> (VP x 1,5)
Resultado:		PARABÉNS! Economizando DIESEL	Valor dentro da especificação	ATENÇÃO! Valor fora da especificação Desperdiçando DIESEL	
3.2 ALTITUDE MAIOR 350 M					
Opacidade requerida: Valor de Porta (VP):			Valor de Porta corrigido (VP):		
Valor de K OPACIDADE	Opacidade requerida	ÓTIMO	BOM	RUIM	MUITO RUIM
	Até 1995	<= 1,35	1,36 a 2,28	2,29 a 3,43	> 3,43
	A partir de 1996	<= 1,0	1,01 a 2,08	2,09 a 3,00	> 3,00
	Valor de porta corrigido	<= (VP x 0,60)	> (VP x 0,60) a VP	> VP a (VP x 1,5)	> (VP x 1,5)
Resultado:		PARABÉNS! Economizando DIESEL	Valor dentro da especificação	ATENÇÃO! Valor fora da especificação Desperdiçando DIESEL	
Obs: O Valor de Porta, se estiver disponível, prevalece sobre a classificação por Ano do Veículo. Para altitude > 350 metros, o Valor de Porta será corrigido em 35% (VP).					
4. OBSERVAÇÕES					
5. ASSINATURAS					
Nome do técnico:			Nome do motorista:		
Assinatura:			Assinatura:		

Os critérios e as especificações utilizadas neste relatório destinam-se a orientar o motorista a manter o seu veículo respeitando o meio ambiente e economizando diesel, não tendo caráter de inspeção ou vistoria e, portanto, não substitui as inspeções oficiais das autoridades de Segurança, Trânsito e Meio Ambiente.