



Publicações de Meio Ambiente

# Relatório Diesel S-50

semove

Realização

Semove – Federação das Empresas de Mobilidade do Estado do Rio de Janeiro

**Diretoria de Mobilidade Urbana da Semove**

Arthur Cesar de Menezes Soares\*

Guilherme Wilson

Paula Leopoldino\*

Giselle Ribeiro\*

Aline Lessa\*

Produção

Verônica Abdalla

Revisão

Tânia Mara e Patricia Gonçalves

Projeto Gráfico

Comunicação Institucional - Semove

Apoio

Secretaria Municipal de Meio Ambiente

2ª Edição, 2023.

Relatório final emitido em: 27/05/2010

\* Colaboradores(as) da Federação na época em que o material foi elaborado

# Prefácio

semove

A preocupação com o impacto da atividade de transporte rodoviário no meio ambiente, na intenção de minimizar os possíveis danos à natureza, promovendo a compensação ambiental, sempre que possível, e a pesquisa dos diversos combustíveis disponíveis, para conhecimento de suas vantagens e desvantagens têm sido uma constante para esta federação. Há quase duas décadas vêm sendo tomadas medidas de controle de emissões de gases de efeito estufa, nos ônibus das empresas associadas, assim como têm sido realizados estudos sobre diversas tecnologias e utilização de combustíveis mais limpos.

neste trabalho, apresentamos relatório de resultados de experiência com o diesel S 50, apontado como uma boa alternativa de energia menos poluente, embora sua utilização, em motores não apropriados para ele, seja considerada, no meio técnico, como menos eficaz.

Testes realizados, durante todo o ano de 2009, com ônibus convencionais, em operação nas ruas do Rio de Janeiro, retiram do campo das meras conjeturas este tema, para lançá-lo na esfera da experiência prática, com medição de resultados. não que seja um estudo definitivo, do ponto de vista científico. Mas deve ser encarado como uma contribuição de uma entidade cujo trabalho na área ambiental é parte de um cotidiano que demonstra a séria postura diante da questão ecológica.

É com este espírito que o oferecemos para os leitores.

# Índice

Introdução .....	06
1. Qualidade do ar .....	08
1.1. Padrões de qualidade do ar .....	09
1.2. Qualidade do ar no Rio de Janeiro .....	12
1.3. Efeitos dos poluentes sobre a saúde humana .....	19
2. Veículos a diesel .....	23
2.1. Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores - Proconve .....	25
2.2. Motores .....	31
2.3. Combustível .....	40
2.3.1. A influência do enxofre no óleo diesel .....	43
2.3.2. O biodiesel no óleo diesel brasileiro .....	43
2.4. Perspectivas futuras .....	44
3. Estudo com o diesel S50 na cidade do Rio de Janeiro .....	46
3.1. Metodologia .....	49
3.2. Primeira análise .....	50
3.3. Segunda análise .....	53
Conclusões .....	59
Referências bibliográficas .....	61
Anexo .....	64

# Introdução

semove

A evolução dos motores a diesel nacionais iniciou-se de forma efetiva a partir da década de 90, a fim de harmonizar a qualidade das emissões, o desempenho e a eficiência energética dos mesmos. no brasil, atualmente, cerca de um terço de todos os deslocamentos diários é feito pelo transporte coletivo de passageiros, sendo mais de 90% destes realizados por ônibus através de motores do ciclo diesel.

Na cidade do Rio de Janeiro, o transporte coletivo de passageiros é utilizado por 47, % da população, segundo dados do seu Plano diretor de Transportes de 2005. A maioria destes deslocamentos, aproximadamente 75%, é realizada por ônibus movidos a óleo diesel, o que demonstra a enorme importância da redução das emissões de poluentes destes veículos.

Apesar dos avanços até hoje alcançados, o país vive uma enorme pressão para adequação dos padrões ambientais já estabelecidos, sendo que, pela primeira vez, aqueles determinados pelo Conama foram desrespeitados<sup>1</sup>, diante das aparentes dificuldades associadas à disponibilidade de óleo diesel mais limpo, com baixo teor de enxofre, e de motores a diesel modernos, com emissões de gases semelhantes àquelas associadas aos veículos comercializados nos países industrializados.

O presente trabalho apresenta os principais desafios existentes relativos à elevação do nível tecnológico dos motores do ciclo diesel no país, ressaltando sua importância para a melhoria da qualidade dos serviços prestados pelo setor de transportes, em especial o coletivo urbano, apontando os cenários de desenvolvimento já sinalizados para os próximos anos no Brasil. São tratados os aspectos da qualidade do combustível, sua disponibilidade, seus efeitos benéficos, seus custos e, também, as inovações tecnológicas necessárias aos novos e modernos motores a diesel.

Em algumas regiões metropolitanas<sup>2</sup>, o diesel mais limpo, com 50 partes por milhão de enxofre, já está sendo fornecido, entretanto, sem os motores modernos adequados para se atingir os padrões exigidos pela legislação brasileira. Por isso, este trabalho apresenta, também, um estudo realizado pela Semove – Federação das Empresas de Mobilidade do Estado do Rio de Janeiro, para verificar o ganho ambiental do diesel mais limpo (S50), em veículos a diesel convencionais, dentro da cidade do Rio de Janeiro, durante todo o ano de 2009.

---

<sup>1</sup> Em 2008, Anfavea, AnP e Petrobras firmaram um acordo judicial em virtude do não cumprimento de uma das fases do Proconve, que restringia os níveis de emissão de poluentes para veículos pesados, que entraria em vigor em janeiro de 2009. no decorrer do texto, estes fatores serão apresentados em detalhes.

<sup>2</sup> Vide Tabela 9, que apresenta o cronograma completo de implementação do óleo diesel S50.

Capítulo 01

# Qualidade do ar

semove



Desde a invenção dos motores de combustão interna, os combustíveis fósseis têm movido pessoas e cargas pelo mundo. Os motores a diesel desempenham um papel importante neste cenário. Por serem mais eficientes, potentes e duráveis, oferecem vantagens sobre aqueles a gasolina.

No Brasil, o preço do diesel mantém-se inferior ao de outros combustíveis, refletindo a sua ampla utilização na frota veicular coletiva e de carga. No entanto, a combustão do diesel gera também poluição em quantidade, tornando-se um problema ambiental, principalmente nos grandes centros urbanos.

A poluição do ar oriunda dos escapamentos de veículos do ciclo diesel é extremamente nociva à saúde humana. Portanto, é fundamental que sejam tomadas medidas eficazes de redução e controle das emissões de gases poluentes, como, por exemplo, o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar, a realização de inventários de fontes geradoras de poluição atmosférica e a criação do Proconve - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores.

Por este motivo, a Semove vem trabalhando no rígido controle dos níveis de emissão de gases de toda a frota de ônibus do Estado do Rio de Janeiro, visando à melhoria da qualidade de vida de seus habitantes.

## 1.1. Padrões de qualidade de ar

A Resolução Conama nº 3, de 28 de junho de 1990, estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar, definindo-os como as concentrações de poluentes atmosféricos que, se ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora, à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Portanto, o nível da qualidade do ar de uma região é medido pela quantificação das substâncias danosas presentes neste ar. Devido à grande variedade delas, foi estabelecido um grupo de poluentes, por sua maior frequência e impacto, como indicador da qualidade do ar: dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), material particulado (MP), monóxido de carbono (CO), ozônio (O<sub>3</sub>), hidrocarbonetos (HC) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>).

A Tabela 1 apresenta os padrões nacionais de qualidade do ar fixados pela Resolução Conama nº 03/1990, dividindo-os em padrões primário (concentrações mínimas que não afetam a saúde da população) e secundário (concentrações limites para o mínimo efeito nocivo ao bem-estar da população e o mínimo dano causado à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral). Verifica-se a ausência de regulamentação, pela legislação brasileira, de padrão de qualidade do ar para as partículas inferiores a 2,5 µm (MP<sub>2,5</sub>).

Tabela 1: Padrões nacionais de qualidade do ar.

	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO (µM/M) <sup>1</sup>	PADRÃO SECUNDÁRIO (µM/M) <sup>2</sup>
Partículas totais em suspensão (PTS)	MGA*	80	60
	24 horas***	240	150
Partículas inaláveis (MP <sub>10</sub> )	MAA**	50	50
	24 horas***	150	150
fumaça	MAA**	60	40
	24 horas***	150	100
dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	MAA**	80	40
	24 horas***	365	100
dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	MAA**	100	100
	1 hora	320	190
Monóxido de carbono (CO)	8 horas***	10.000	10.000
	1 hora***	40.000	40.000
Ozônio (O <sub>3</sub> )	1 hora***	160	160

Fonte: REEMA, 2007.

\* Média geométrica anual. | \*\* Média aritmética anual. | \*\*\* Concentração que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

Segundo a Organização Mundial de Saúde, os padrões de qualidade do ar fixados por cada país variam de acordo com a abordagem adotada de forma a equilibrar os riscos à saúde, a viabilidade tecnológica, considerações econômicas e outros fatores políticos e sociais. Em seu guia de qualidade do ar, a OMS reconhece esta heterogeneidade e recomenda aos governos, na formulação de suas políticas de qualidade do ar, que considerem cuidadosamente suas próprias circunstâncias locais, antes de adotarem legalmente seus padrões (OMS, 2005). Os padrões de qualidade do ar recomendados pela OMS são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2: Padrões de qualidade do ar recomendados pela OMS**

POLUENTE	INTERVALO DE TEMPO	PADRÃO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )	Anual	40
	1 hora	200
Material particulado ( $\text{MP}_{10}$ )	Anual	20
	24 horas	50
Material particulado ( $\text{MP}_{2,5}$ )	Anual	10
	24 horas	25
Ozônio ( $\text{O}_3$ )	8 horas	100
dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ )	24 horas	20
	10 minutos	500

fonte: OMS, 2008

Para efeito de comparação, os padrões de qualidade do ar adotados pela união Europeia e pelos Estados unidos (estabelecidos pela Agência de Proteção Ambiental - uS.EPA) são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3: Padrões europeus e norte-americanos de qualidade do ar**

POLUENTE	INTERVALO DE TEMPO	PADRÃO UE	PADRÃO EUA
Monóxido de carbono ( $\text{CO}$ )	8 horas	10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (9 ppm)
	1 hora	-	40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (35 ppm)
dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )	1 ano	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,053 ppm)
	1 hora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,100 ppm
Material particulado ( $\text{MP}_{10}$ )	24 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 ano	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
Material particulado ( $\text{MP}_{2,5}$ )	1 ano	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24 horas	-	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozônio ( $\text{O}_3$ )	8 horas	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,075 ppm
	1 hora	-	0,12 ppm
dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ )	1 ano	-	0,03 ppm
	24 horas	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,14 ppm
	1 hora	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-

fonte: EuroQA, 2000; uS.EPA, 2000

Os níveis limites de concentrações que caracterizam os episódios críticos de poluição atmosférica também foram estabelecidos pela Resolução Conama nº 03/1990, conforme descrito na Tabela 4. Estes episódios se caracterizam por altos níveis de poluentes na atmosfera, num curto período de tempo, resultantes da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos.

Tabela 4: critérios para caracterização de episódios críticos de poluição do ar

PARÂMETROS	PERÍODO	CONCENTRAÇÃO LÍMITE		
		ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA
dióxido de carbono ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas	800	1.600	2.100
Partículas totais em suspensão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas	375	625	875
SO <sub>2</sub> x PTS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas	65.000	261.000	393.000
Monóxido de carbono (ppm)	8 horas	15	30	40
Ozônio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1 hora	400	800	1.000
Partículas inaláveis ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas	250	420	500
fumaça ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	24 horas	250	420	500
dióxido de nitrogênio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1 hora	1.130	2.260	3.000

Fonte: FEEMA, 2007.

A divulgação à população da qualidade do ar e seus potenciais efeitos à saúde é feita através de um índice de qualidade do ar, uma ferramenta matemática desenvolvida especificamente para simplificar esse processo de informação. Este índice baseia-se no “PSi – Pollutant Standard index”, desenvolvido pela U.S.EPA, com longa experiência no Canadá e EUA.

Para efeito de divulgação, a qualidade do ar de uma estação de monitoramento de vários poluentes é determinada pela pior qualificação apresentada dentre os poluentes monitorados, e não por uma qualificação geral destes. No Brasil, o índice de qualidade do ar, apresentado na Tabela 5, contempla os indicadores presentes na Resolução Conama nº 03/1990.

Tabela 5: Faixas de concentrações limites do índice de qualidade do ar

POLUENTES	PERÍODO CONSIDERADO	FAIXAS DE CONCENTRAÇÃO À QUALIFICAÇÃO DO AR					
		BOA	REGULAR	INADEQUADA	MÁ	PÉSSIMA	CRÍTICA
dióxido de enxofre	Valor médio diário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	até 80	81 a 36	366 a 800	801 a 1.600	.601 a .100	acima de 2.100
Partículas totais em suspensão	Valor médio diário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	até 80	81 a 240	41 a 37	376 a 62	626 a 87	acima de 875
Partículas inaláveis	Valor médio diário ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	até 50	1 a 150	51 a 250	51 a 420	421 a 500	acima de 500
Monóxido de carbono	Valor médio 8 horas corridas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	até 5.000	001 a 0.000	0.000 a 7.000	7.001 a 34.000	34.001 a 46.000	acima de 46.000
Ozônio	Valor médio de 1 hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	até 80	81 a 160	61 a 200	01 a 800	801 a 1.000	acima de 1.000
dióxido de nitrogênio	Valor médio de 1 hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	até 100	01 a 320	321 a 1.130	.131 a .260	261 a 3.000	acima de 3.000

Fonte: FEEMA, 2007.

## 1.2. Qualidade do ar no Rio de Janeiro

No Estado do Rio de Janeiro, diversos estudos sobre a qualidade do ar vêm sendo realizados desde o final da década de 60, quando foram instaladas as primeiras estações de monitoramento. Diversas ações também foram desenvolvidas e implementadas, ao longo das últimas décadas, na área de controle veicular, como o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, o Programa de Inspeção e Manutenção Veicular e o Programa de Autocontrole de Emissão de Fumaça Preta.

O Proconve - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores - se tornou a base principal do controle das emissões de origem veicular, desde sua criação pela Resolução Conama nº 18, de 6 de maio de 1986. O atendimento às suas medidas pelas montadoras, como o uso de injeção eletrônica e catalisador, e pelas fornecedoras de combustível, como a retirada do chumbo da gasolina e a redução do enxofre no diesel, propiciou melhorias ambientais.

Além de atender às ações do Proconve, o Estado do Rio de Janeiro foi o único a implantar um programa de inspeção e manutenção (i/M) veicular, que vem sendo realizado desde julho de 1997, conforme estabelecido pela Resolução Conama 07, de 31 de agosto de 1993. Somente agora, por força da nova Resolução Conama nº 418, de 25 de novembro de 2009, os demais Estados e municípios (com frota superior a 3 milhões de veículos) implantarão estes programas, segundo os novos limites de emissão e procedimentos para avaliação do estado de manutenção de veículos em uso.

O Programa de Autocontrole de Emissão de Fumaça Preta por Veículos Automotores do Ciclo Diesel – Procon Fumaça Preta - foi instituído no âmbito estadual pela Diretriz FEEMA DZ-572.R-4, de 17 de abril de 2007. Este programa exige a medição periódica dos níveis de opacidade de toda a frota das empresas transportadoras de passageiros e de cargas, que utilizam o óleo diesel como combustível automotor e atuantes no Estado do Rio de Janeiro.

Entretanto, estes programas de controle ou redução de emissão veicular podem não ser suficientes para garantir, isoladamente, a estabilização ou a redução da emissão de poluentes oriundos de fontes móveis. O crescimento contínuo da frota veicular do Estado do Rio de Janeiro, ao longo dos anos, demandará dos governos locais ações e medidas não mais tecnológicas, mas operacionais, restringindo a circulação de veículos em determinadas áreas da cidade.

No plano ambiental, a solução do problema de melhoria da qualidade do ar pode não depender apenas de ações específicas de agências e organismos governamentais de meio ambiente, mas também daquelas compartilhadas com vários setores da sociedade que, direta ou indiretamente, podem impulsionar prioridades políticas no que tange a esses assuntos.

Por isso, um grande instrumento de planejamento ambiental é o inventário de fontes de emissão de poluição atmosférica, uma vez que identifica, qualifica e quantifica as atividades poluidoras do ar, bem como fornece informações sobre as características das fontes, como localização, magnitude, frequência, duração e contribuição relativa das emissões (FEEMA, 2007).

Para órgãos de gestão ambiental, um inventário de fontes de emissão permite a elaboração de diagnósticos que auxiliam nas tomadas de decisão relativas ao licenciamento de atividades poluidoras e às eventuais ações de controle. O levantamento de emissões identifica os principais contribuintes (indústrias, veículos, etc.) e suas respectivas características.

O último inventário de emissões do Estado do Rio de Janeiro foi realizado, em 2007, pela feema – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente -, antigo órgão de gestão ambiental estadual, atualmente denominado Inea – Instituto Estadual do Ambiente. Este levantamento abrange todo o Estado e aponta duas áreas críticas, a região metropolitana e a Região do Médio Paraíba, pólo industrial localizado no sul do Estado.

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), à época do estudo, era composta por 17 municípios, que ocupavam 11% do território do Estado, contudo com uma população de mais de 11 milhões de habitantes, que representava 74% do mesmo, dos quais 54% residiam na capital, foco do presente trabalho. Apesar da grande concentração de população, veículos e indústrias, a RMRJ apresenta um sistema de circulação atmosférica que, embora complexo, é eficiente em várias regiões, pois combina os efeitos de brisa com as canalizações proporcionadas pela topografia local (FEEMA, 2007).

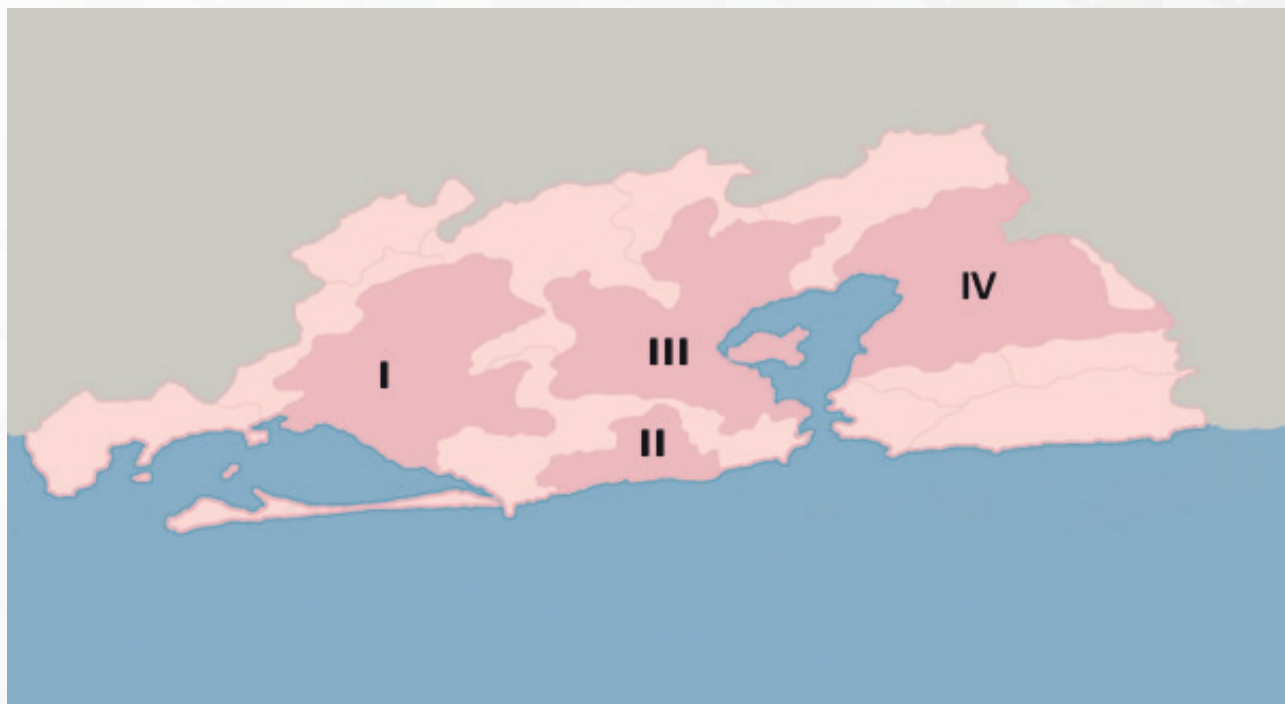
Para o levantamento das fontes de emissão de poluentes atmosféricos, a RMRJ foi dividida em quatro sub-regiões, denominadas de bacias aéreas, segundo aspectos de topografia e meteorologia. A distribuição geográfica das bacias aéreas, observada na figura 1, ocorre da seguinte maneira:

**Bacia Aérea I** | municípios de Seropédica, Queimados e Japeri e parte dos municípios de Itaguaí e Rio de Janeiro (regiões administrativas de Santa Cruz e Campo Grande);

**Bacia Aérea II** | parte do município do Rio de Janeiro (regiões administrativas de Jacarepaguá e Barra da Tijuca);

**Bacia Aérea III** | municípios de Nova Iguaçu, Belford Roxo e Mesquita e parte dos municípios de Nilópolis, São João de Meriti, Duque de Caxias, Magé e Rio de Janeiro (regiões administrativas de Portuária, Centro, Rio Comprido, Botafogo, São Cristóvão, Tijuca, Vila Isabel, Ramos, Penha, Méier, Engenho Novo, Irajá, Madureira, Bangu, Ilha do Governador, Anchieta e Santa Teresa);

**Bacia Aérea IV** | municípios de São Gonçalo, Itaboraí, Guapimirim e Tanguá e parte do município de Niterói.



Este inventário considerou as fontes fixas e móveis e as emissões dos poluentes regulamentados - material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos.

As fontes fixas são as atividades estacionárias, como as indústrias, e as fontes móveis são aquelas emitidas pelos diversos meios de transporte motorizados, seja aéreo, marítimo ou terrestre (rodoviário, ferroviário e metroviário). no total, foram inventariadas 1.901 fontes fixas e móveis de emissão de poluentes atmosféricos na RMRJ, ilustradas na figura 2.

Figura 2: Fontes fixas e móveis inventariadas na RMRJ



Fonte: FEEMA, 2007.

Para que um inventário de emissões seja completo, deveria considerar toda e qualquer fonte existente numa área, independente da sua magnitude. Contudo, para este levantamento, foram desconsideradas as fontes naturais (queimadas, desgaste do solo, erosão eólica, etc.), as de pequeno porte e de baixo potencial poluidor, bem como aquelas que, mesmo apresentando potencial poluidor significativo, revelaram impossibilidade de obtenção de informações suficientes.

Para o inventário das fontes fixas, foram selecionadas aquelas com maior potencial poluidor, segundo sua atividade industrial, considerando as 500 empresas responsáveis por mais de 90% dos poluentes emitidos para a atmosfera.

A taxa de emissão dos poluentes considerados das fontes fixas por bacia aérea na RMRJ é apresentada na Tabela 6. Os resultados demonstram que as fontes fixas que mais contribuíram para a poluição atmosférica estão localizadas na bacia aérea iii, principal pólo industrial, e na bacia aérea i, área de grande crescimento industrial.

Tabela 6: Taxa de emissão das fontes fixas por bacia aérea na RMRJ

TAXA DE EMISSÃO (TON/AnO)* 1000	POLUENTES				
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC	MP <sub>10</sub>
TOTAL GERAL	55,76	30,27	6,38	25,85	10,58
bacia i	21,48	14,55	0,92	0,31	5,90
bacia ii	0,01	0,14	0,13	0,74	0,36
bacia iii	29,41	13,30	2,80	24,44	2,50
bacia iv	3,80	1,28	2,36	0,13	1,39

SO<sub>2</sub> - dióxido de enxofre | NO<sub>x</sub> - óxidos de nitrogênio | CO - Monóxido de carbono | HC - Hidrocarbonetos | MP<sub>10</sub> - Material particulado inalável

Fonte: REEMA, 2007.

Nas grandes cidades, os veículos, por sua quantidade e distribuição espacial, se destacam como as principais fontes móveis emissoras de poluentes. Para o inventário destas fontes, 260 no total, foram contabilizadas as emissões dos veículos automotores que circulam nas 187 principais vias da RMRJ, as mais significativas quanto ao volume de tráfego. A Tabela 7 apresenta o percentual dessas emissões, sendo a Av. Brasil a que mais contribui para a poluição atmosférica ocasionada por fontes móveis.

Tabela 7: Percentual de emissões das principais vias na RMRJ

ROTE DA VIA	POLUENTES (%)				
	MP <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC
Av. Brasil	22,9	30,0	33,4	25,3	25,2
Av. das Américas	5,7	9,6	7,9	12,2	12,3
Rod. Pres. Dutra	5,5	2,9	3,4	2,6	2,2
Linha Vermelha	3,1	3,4	3,8	2,8	2,8
Rod. Washington Luís	2,9	3,9	4,2	3,5	3,5
Ponte Rio - Niterói	1,9	3,2	2,7	3,9	3,9
Av. Ayrton Senna	*	2,2	1,8	2,9	2,9
Linha Amarela	*	1,9	1,9	2,5	2,5
demais vias	58,0	42,9	40,9	44,3	44,7

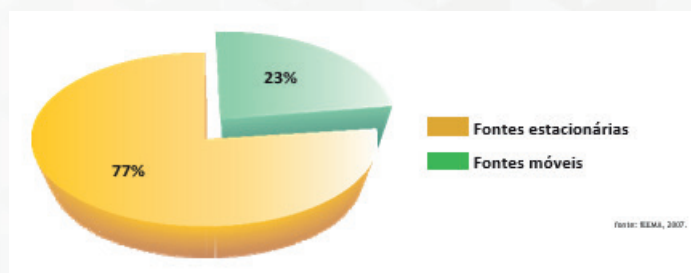
\* Percentual incluído nas demais vias de tráfego

SO<sub>2</sub> - dióxido de enxofre | NO<sub>x</sub> - óxidos de nitrogênio | CO - Monóxido de carbono | HC - Hidrocarbonetos | MP<sub>10</sub> - Material particulado inalável

Fonte: REEMA, 2007.

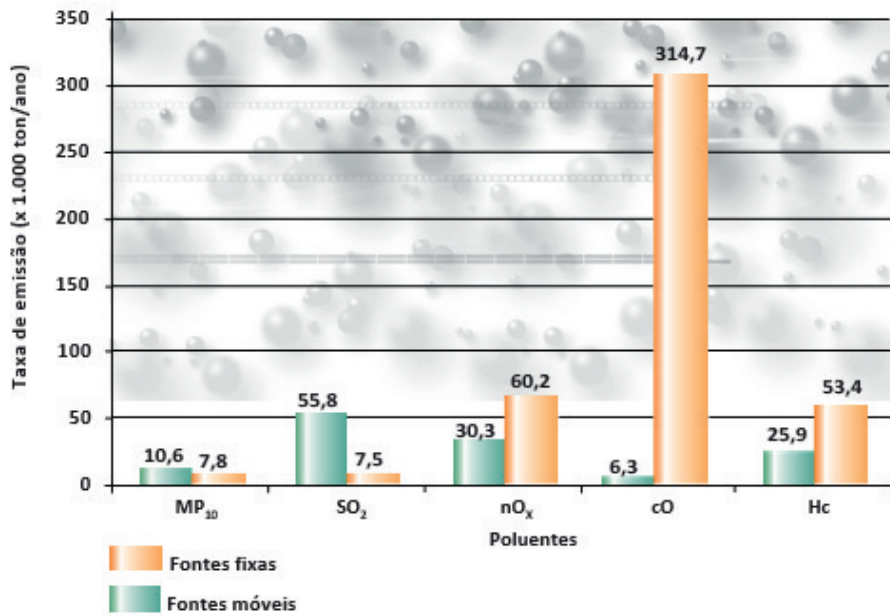
Comparando as emissões totais de poluentes para a atmosfera dos dois tipos de fontes consideradas, verifica-se que as fontes móveis respondem por 77%, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3: contribuição das fontes na carga poluidora da RMRJ



Na mesma comparação por poluente avaliado (figura 4), nota-se que a contribuição das fontes fixas é maior em dois deles: material particulado inalável e dióxido de enxofre, que contribuem, respectivamente, com 58% e 88% das emissões. Por outro lado, as fontes móveis são responsáveis, majoritariamente, pelas emissões dos outros três poluentes analisados: óxidos de nitrogênio (67%), monóxido de carbono (98%) e hidrocarbonetos (67%).

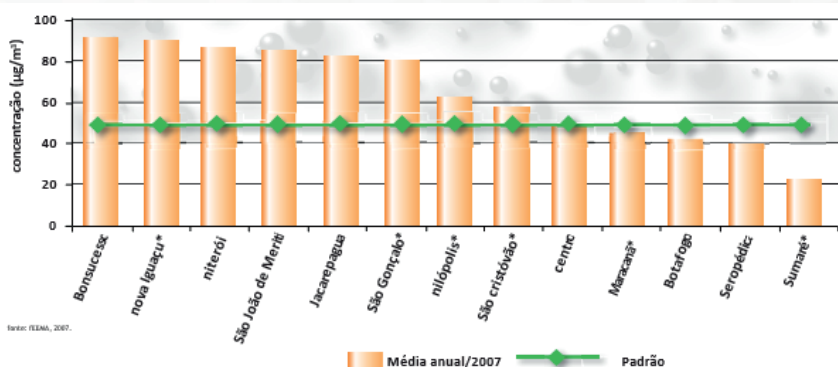
Figura 4: comparação entre as emissões de fontes fixas e móveis, por poluente, na RMRJ



O material particulado é o poluente que apresenta distribuição mais equilibrada entre fontes móveis e fixas, sendo característico da queima de combustíveis fósseis mais pesados, utilizados nos processos industriais (óleo combustível) e nos veículos automotores (óleo diesel). Este é um dos principais poluentes atmosféricos em termos de degradação dos níveis de qualidade do ar na RMRJ.

na figura 5, são apresentadas as concentrações médias anuais de partículas inaláveis (MP10), por estação de monitoramento na RMRJ, em 2007, comparadas com o limite padrão de concentração, fixado em 50µg/m<sup>3</sup> pela Resolução Conama nº 03/90.

Figura 5: comparação das médias anuais de partículas inaláveis, por estações de amostragem, com o limite padrão de concentração (50µg/m<sup>3</sup>)

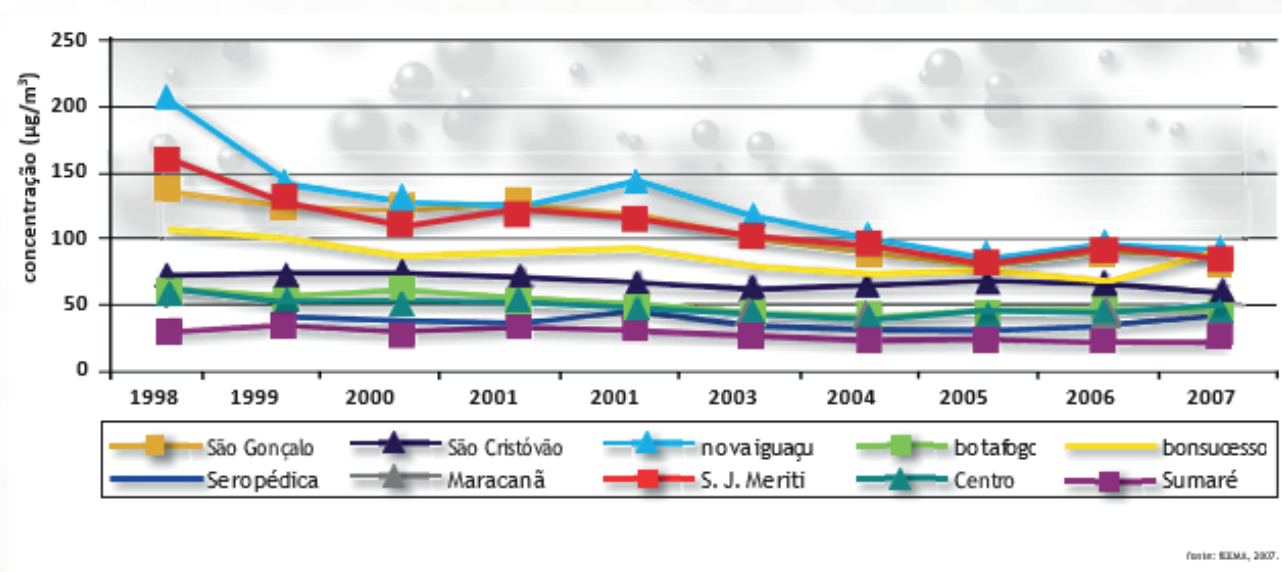




Verifica-se que as oito estações monitoradas, nas quais o padrão de qualidade do ar foi ultrapassado, estão localizadas nas bacias aéreas ii (Jacarepaguá), iii (bonsucesso, nova iguaçu, São João de Meriti, nilópolis e São Cristóvão) e iv (niterói e São Gonçalo). Este resultado demonstra que a poluição nestas localidades é ocasionada, principalmente, pelas fontes móveis, visto que a bacia aérea i apresenta a maior taxa de emissão de partículas inaláveis por fonte fixa.

A evolução destas concentrações médias anuais de partículas inaláveis, no período de 1998 a 2007, é apresentada na figura 6, onde se observa o pico, no primeiro ano de monitoramento, com posterior queda nas concentrações e tendência de estabilização.

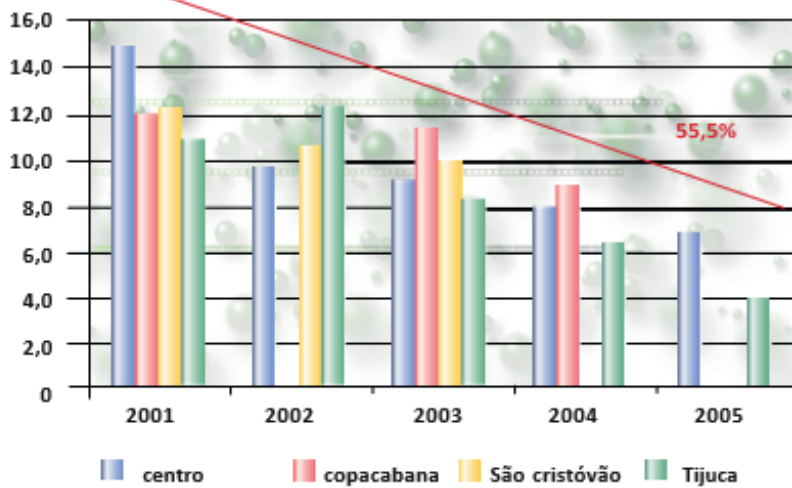
Figura 6: evolução das concentrações médias anuais de partículas inaláveis, das estações de amostragem na RMRJ



Apesar dos níveis de concentração de material particulado inalável serem preocupantes na RMRJ, notamos que esforços, como os empreendidos pelas ações ambientais da Semove, dentre outras realizadas por entidades privadas, vêm criando um cenário de redução dos níveis totais e, conseqüentemente, de melhoria da qualidade do ar no Estado do Rio de Janeiro.

Considerando apenas o monitoramento da qualidade do ar no município do Rio de Janeiro, realizado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, os dados apontam uma redução média de 56% na concentração de dióxido de enxofre, e de 30% de partículas inaláveis, no período de 2001 a 2005, conforme apresentado nas figuras 7 e 8.

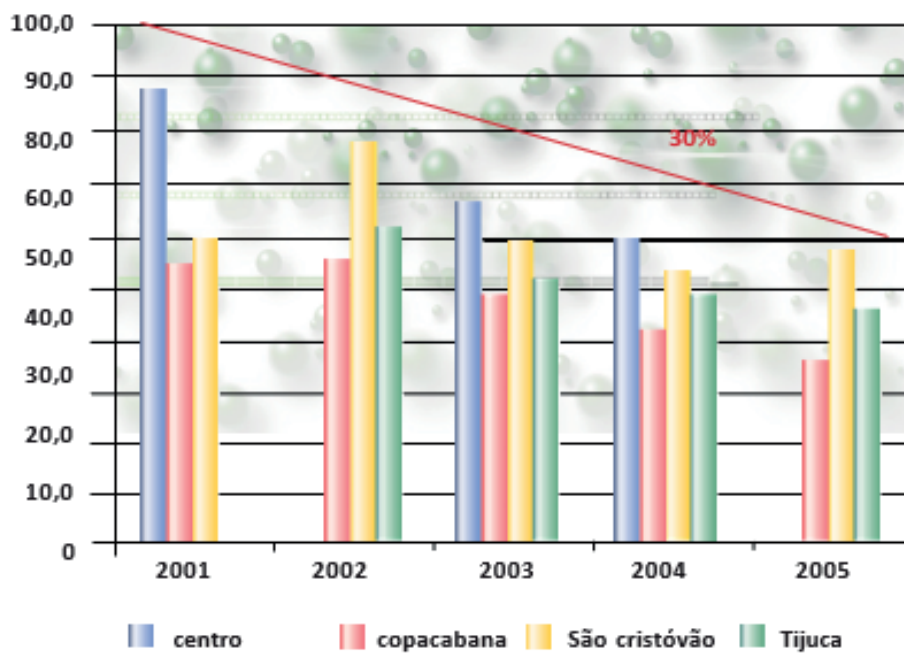
Figura 7: Média anual da concentração de dióxido de enxofre – SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)



fonte: Secretaria de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro.

\* Critério de representatividade adotado para o cálculo da média anual: 50% das médias diárias válidas para os períodos janeiro-abril, maio-agosto e setembro-dezembro.

Figura 8: Média anual da concentração de partículas inaláveis – PI (µg/m<sup>3</sup>)



fonte: Secretaria de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro

\* Critério de representatividade adotado para o cálculo da média anual: 10% das médias diárias válidas para os períodos janeiro-abril, maio-agosto e setembro-dezembro.

## 1.3. Efeitos dos poluentes sobre a saúde humana

Nas grandes cidades, onde há grande concentração de pessoas e, conseqüentemente, de veículos, a poluição atmosférica torna-se mais evidente com a fumaça preta emitida pelos motores a diesel. Esta fumaça, gerada pelos resíduos produzidos pela combustão em veículos do ciclo diesel, é extremamente nociva à saúde humana, pois transporta também outros compostos poluentes.

Dentre os poluentes atmosféricos emitidos por motores a diesel, alguns se destacam, como os óxidos de carbono (CO e CO<sub>2</sub><sup>3</sup>), dióxidos de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (nOx), hidrocarbonetos (HCs) e material particulado (MP). Estes são denominados poluentes primários, por serem emitidos diretamente da fonte de emissão, e ainda podem formar outros na atmosfera, através de reações químicas, ou seja, os poluentes secundários, como é o caso do ozônio (O<sub>3</sub>). Cada um deles afeta à saúde humana de forma diferente, conforme apresentado a seguir.

**Monóxido de carbono (cO)** | O monóxido de carbono, gás inodoro, incolor e insípido, é produzido pela queima incompleta de combustíveis que contém átomos de carbono. Este poluente prejudica a oxigenação dos tecidos ao combinar-se com a hemoglobina, substância presente nos glóbulos vermelhos do sangue e responsável por transportar o oxigênio (O<sub>2</sub>) dos pulmões ao restante do organismo.

**Óxidos de nitrogênio (nOx)** | Os óxidos de nitrogênio são produzidos pela queima de combustíveis sob altas temperaturas e em presença do ar, que contém grandes quantidades de nitrogênio e oxigênio. O dióxido de nitrogênio (nO<sub>2</sub>) possui odor característico e muito irritante, que provoca ardência nos olhos, no nariz e nas mucosas em geral. A inalação desses óxidos, de forma crônica e em doses nocivas, provoca doenças respiratórias, desde inflamações, como traqueites e bronquites crônicas, até enfisema pulmonar e broncopneumonias.

**Ozônio (O<sub>3</sub>)** | O ozônio é um poluente secundário e é constituído por reações fotoquímicas na presença de luz solar e poluentes precursores, como óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. Por ser considerado o oxidante fotoquímico mais importante, ao oxidar proteínas, lipídios e outras substâncias químicas integrantes das células, ele agrava a ação irritante dos outros poluentes e intensifica as inflamações e infecções do sistema respiratório.

**Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>)** | O dióxido de enxofre, emitido principalmente por veículos do ciclo diesel, é um gás amarelado, com odor característico do enxofre e extremamente solúvel. Por isso, ao alcançar a mucosa respiratória, úmida, transforma-se em ácido sulfúrico que, mesmo em quantidades muito pequenas, ao longo do tempo, lesa as células de defesa do trato respiratório, predispondo o indivíduo a infecções respiratórias.

**Hidrocarbonetos (Hcs)** | Os hidrocarbonetos, presentes em grande variedade nos combustíveis fósseis, constituem uma grande família de substâncias orgânicas compostas de hidrogênio e carbono. Estes poluentes provocam irritação nos olhos, nariz, pele e aparelho respiratório, sendo alguns carcinogênicos, como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA).

**Material particulado (MP)** | O material particulado é o poluente atmosférico mais visível nos grandes centros urbanos e constitui a maior parte da massa de exaustão que veículos a diesel lançam no ar. A fuligem - fumaça negra que é vista saindo pelos canos de escapamento – corresponde a 80% dele.

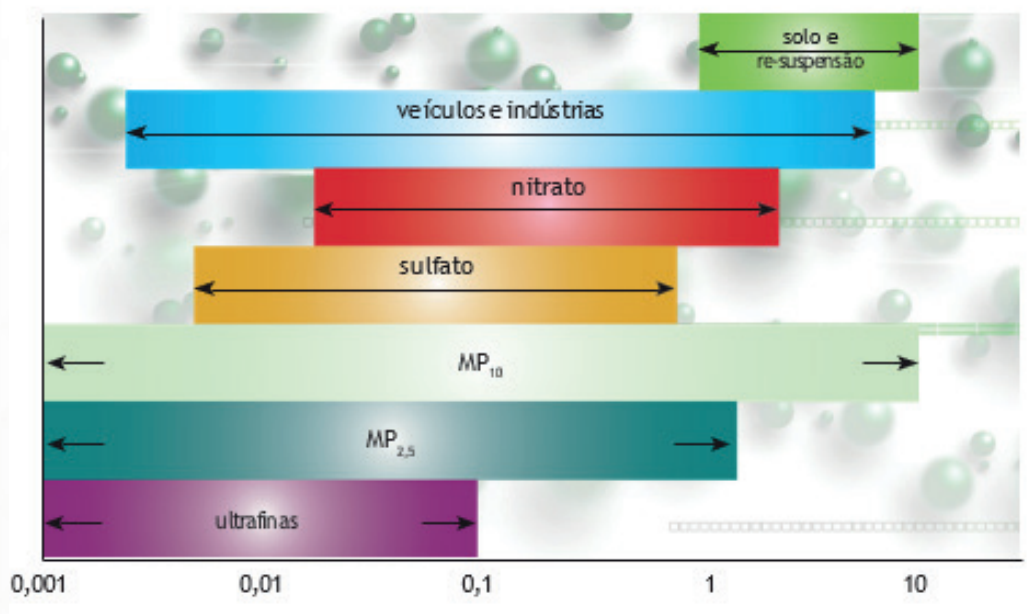
---

<sup>3</sup> O CO<sub>2</sub> não é um poluente danoso à saúde humana, todavia é um dos principais gases de efeito estufa e sua emissão deve ser reduzida globalmente.

Essa fuligem é composta de partículas muito pequenas, com diâmetros medidos em micrometros ( $\mu\text{m}$ ), isto é, a milésima parte de 1 milímetro. Quanto menor for a partícula, maior é a sua absorção nas trocas gasosas efetuadas pelo pulmão, carregando consigo compostos nocivos que podem se manifestar, causando lesões não só no sistema respiratório, mas também em qualquer outro órgão do corpo humano.

As partículas com dimensões menores que  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ <sup>4</sup>) são chamadas inaláveis, pois possuem a capacidade de serem depositadas nos alvéolos, superfícies de trocas gasosas do pulmão. Elas se mantêm por longo período junto às células do tecido pulmonar, permitindo que pequenas quantidades de tóxicos causem danos graças à sua prolongada permanência. A figura 9 mostra as diferentes composições e diâmetros do material particulado.

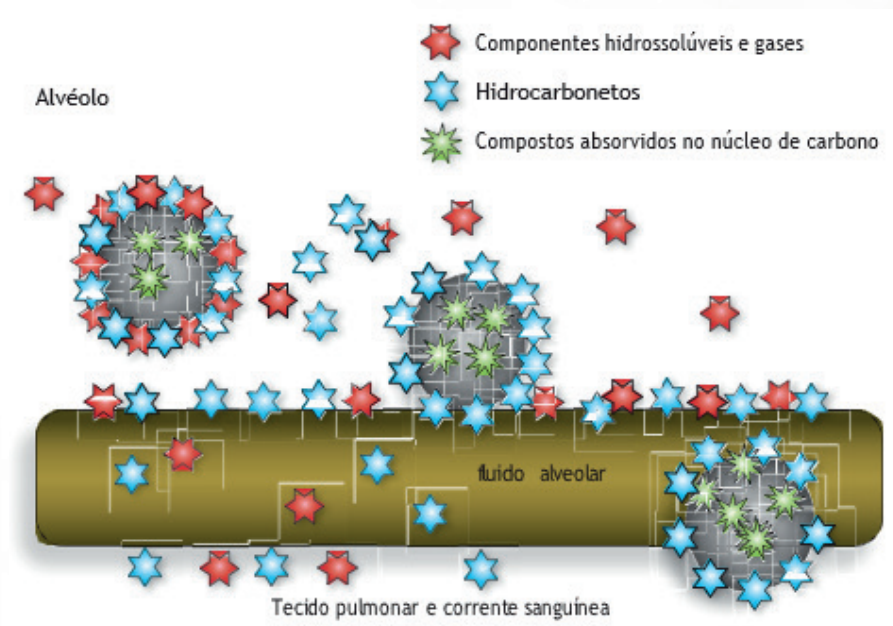
Figura 9: esquema representativo dos diâmetros aerodinâmicos do material particulado e sua origem mais provável



O material particulado tem por composição básica um núcleo de carbono onde estão agregados gases, compostos orgânicos, sulfatos, nitratos e metais que, uma vez transportados para o organismo, através da sua inalação, possuem ação irritante, tóxica ou cancerígena. A toxicidade do material particulado é determinada por estas substâncias presentes nas partículas que, se inaladas, são levadas para os alvéolos, dentro dos pulmões, onde se espalham para todo o organismo, conforme mostrado na figura 10.

<sup>4</sup> denominação do material particulado segundo o seu diâmetro. Portanto, MP10 refere-se ao material particulado com diâmetro inferior a 10  $\mu\text{m}$  e MP2,5 refere-se ao material particulado com diâmetro inferior a 2,5  $\mu\text{m}$ .

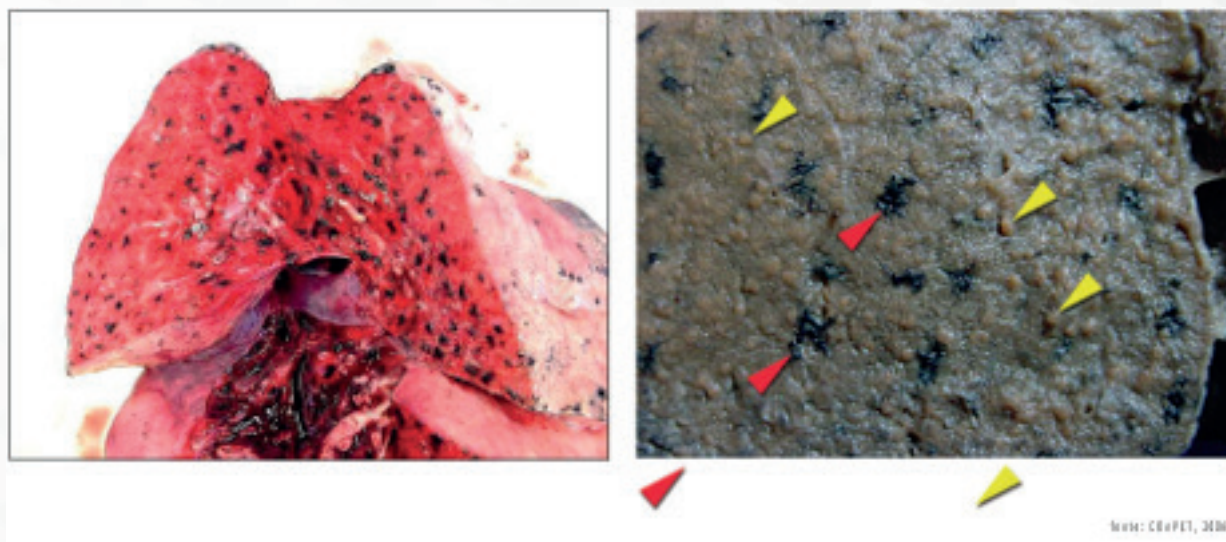
Figura 10: Representação esquemática da absorção de compostos tóxicos contidos nas partículas depositadas nos alvéolos



Estas substâncias agregadas às partículas podem estar adsorvidas à sua superfície ou absorvidas pelo seu núcleo de carbono. Os compostos adsorvidos possuem diferentes graus de volatilidade, podendo retornar à fase gasosa (a temperatura no ambiente alveolar é de 37°C) e serem difundidos para o meio interno. Por serem solúveis em meio líquido, podem dissolver-se no fluido aquoso da superfície alveolar e atingir a circulação sanguínea.

As partículas também podem ser aprisionadas pelas células do tecido pulmonar, impregnando o pulmão de manchas pretas visíveis (antracose), como ilustrado na figura 11. A quantidade de MP retida nos pulmões é um indicador da dose acumulada de exposição a este poluente, constituindo-se em um “banco de memória” das fontes poluidoras que produziram os elementos tóxicos acumulados.

Figura 11: Material poluente acumulado no pulmão humano



A relação entre poluição atmosférica por material particulado e mortalidade e morbidade (capacidade de causar doenças) da população foi analisada por diversos estudos em todo o mundo, os quais apontam alguns pontos em comum:

- Os efeitos do MP sobre a contagem de óbitos ocorrem antes que os limites atuais de qualidade do ar sejam ultrapassados;
- O tempo de latência para que ocorra o aumento de mortalidade é bastante curto, não ultrapassando poucos dias;
- Mesmo pequenas variações de MP são traduzidas por aumentos correspondentes de mortalidade;
- Os grupos populacionais mais significativamente afetados pelo material particulado são fetos, crianças com menos de 5 anos de vida, idosos e pessoas com doenças respiratórias;
- Algumas doenças são mais suscetíveis aos efeitos adversos do MP, como doença pulmonar obstrutiva crônica, insuficiência cardíaca e enfarte;
- fatores socioeconômicos influenciam a suscetibilidade ao MP. Em termos de mortalidade, quanto menor for o índice de desenvolvimento social e econômico da população exposta, maior será o seu impacto;
- Enquanto a mortalidade por doenças respiratórias depende da indução de um estado inflamatório pulmonar, com prejuízo das defesas respiratórias contra agentes infecciosos inalados, a mortalidade por doenças cardiovasculares está associada a distúrbios do controle autonômico do coração ou a alterações dos fatores de coagulação;
- A redução da expectativa de vida relacionada à exposição aos poluentes atmosféricos é, mais provavelmente, resultado da exposição crônica do que eventual;
- A mortalidade por doenças cardiorrespiratórias e câncer de pulmão está associada à exposição prolongada ao material particulado, especialmente à sua fração mais fina (MP<sub>2,5</sub>);
- As admissões hospitalares, tanto de crianças quanto de adultos, ocasionadas pelos efeitos do MP, são relacionadas, principalmente, à asma, doença pulmonar obstrutiva crônica, bem como às pneumonias, infecções do trato respiratório superior, à descompensação de quadros de insuficiência cardíaca, a arritmias cardíacas diversas e quadros isquêmicos coronarianos;
- Os efeitos do MP quanto à morbidade são maiores do que aqueles observados em termos de mortalidade, porém obedecem ao mesmo perfil: curta latência, dependência de dose e ausência de uma concentração abaixo da qual não são observados efeitos sobre a saúde da população.

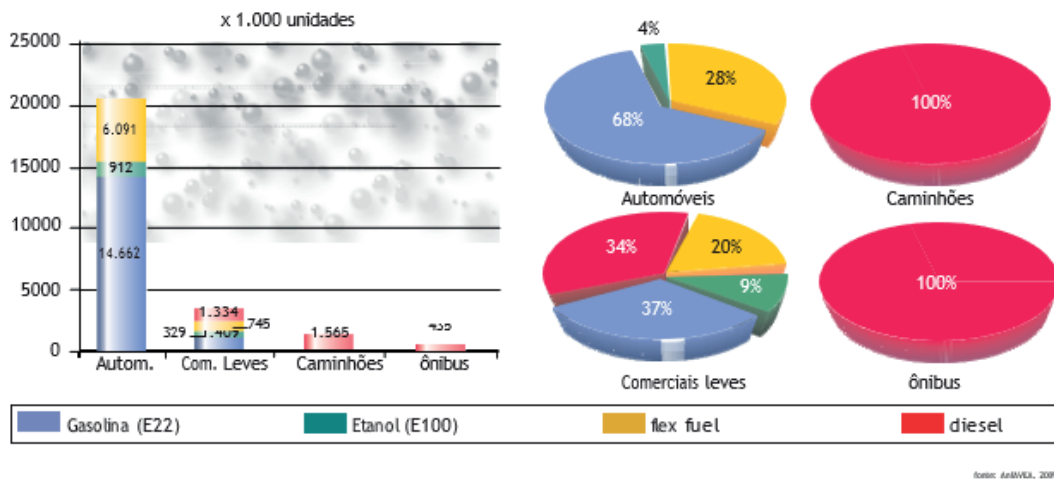
Capítulo 02

# Veículos a diesel

semove

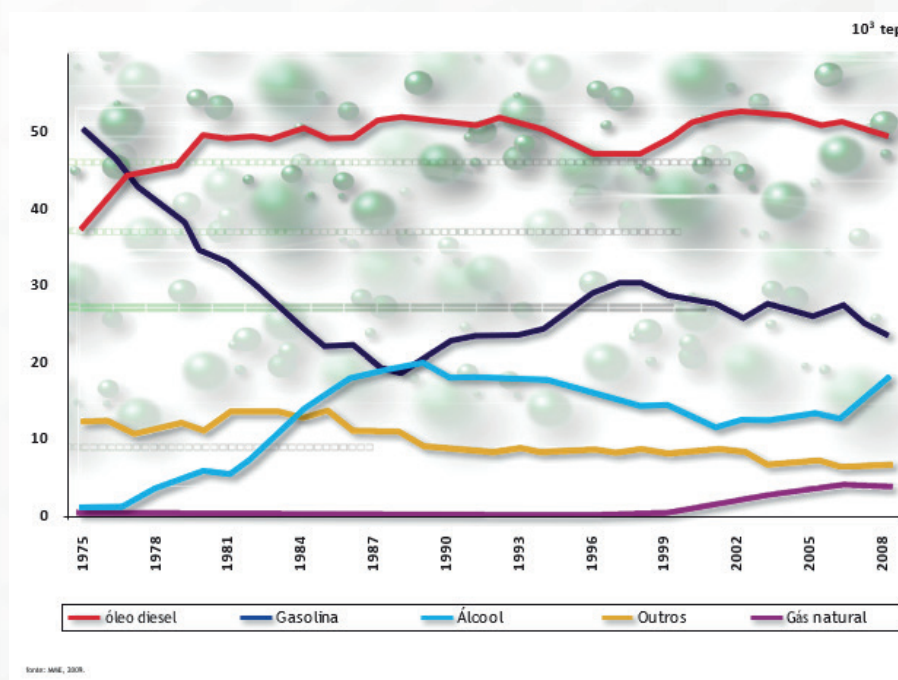
Nos últimos 60 anos, a frota de veículos rodoviários no Brasil aumentou significativamente, acompanhando o crescimento industrial do país e a adoção de uma matriz de transportes pautada no segmento rodoviário. No entanto, a frota de ônibus nacional, dentre os diferentes tipos de veículos rodoviários, está entre as menores. Atualmente, existem cerca de 435 mil ônibus no país, o que representa menos de 2% da frota total de veículos rodoviários, conforme mostra a figura 12.

Figura 12: Distribuição da frota de veículos no Brasil



Diferentemente dos veículos leves, que possuem mais de um combustível disponível, os ônibus no Brasil são absolutamente dependentes de apenas uma fonte de energia, o óleo diesel. Na figura 13, que ilustra a evolução do consumo de energia do setor de transportes brasileiro, pode-se observar a importância do óleo diesel na matriz energética. Por isso, torna-se relevante e urgente a melhoria ambiental deste combustível fornecido nos grandes centros urbanos.

Figura 13: evolução do consumo de energia do setor de transportes





## 2.1. Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores - Proconve

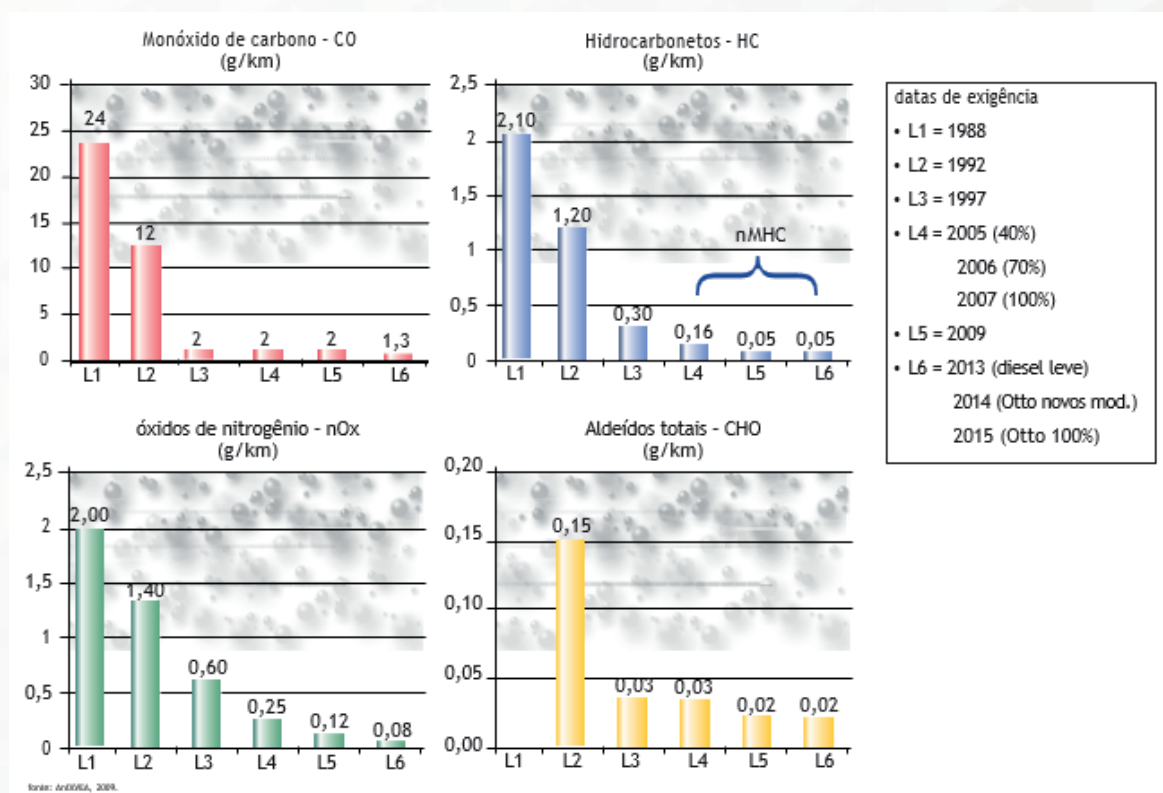
Os veículos a diesel no Brasil evoluíram bastante nos últimos 20 anos, desde a criação do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – Proconve, instituído pelo Conama, através da Resolução nº 18, de 6 de maio de 1986.

A fim de reduzir as emissões poluidoras na atmosfera, o Proconve tem como objetivos: respeitar os 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; desenvolver a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores; estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados; e aprimorar as características técnicas dos combustíveis líquidos postos à disposição da frota nacional de veículos automotores.

Os padrões de emissão do Proconve foram definidos exclusivamente pelo critério de peso dos veículos, não considerando o tipo de combustível. Portanto, existem dois grupos de exigência: os veículos leves, com peso bruto inferior a 3.856 kg, e os veículos pesados, com peso bruto superior a 3.856 kg.

Inicialmente, o Proconve estabeleceu os limites máximos de emissão de poluentes do ar para os motores e veículos automotores novos e leves (ciclo Otto), com cronograma gradual de redução de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e teor de monóxido de carbono em marcha lenta. Os avanços obtidos, desde o início do programa, são apresentados na figura 14, por fase de exigência, denominadas de L1, L2, L3, etc. (a letra “L” faz referência aos veículos leves).

Figura 14: evolução das fases do Proconve para veículos leves



Para os motores e veículos do ciclo diesel, integrantes do grupo de veículos pesados, foram definidos, inicialmente, apenas os limites de emissão de fuligem pelo tubo de escapamento (opacidade em regime de carga). Com a Resolução Conama nº 8, de 31 de agosto de 1993, foram estabelecidos os primeiros limites máximos de emissão de poluentes, que previa a redução gradual de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (nOx) e material particulado (MP), em quatro etapas: as chamadas fase P1, fase P2, fase P3 e fase P4 do Proconve (a letra “P” faz menção aos veículos pesados).

A Resolução Conama nº 315, de 29 de outubro de 2002, instituiu as novas etapas do Proconve, P5 e P6, a serem atendidas nas homologações dos veículos automotores novos, nacionais e importados, leves e pesados. A implantação da fase P6, em janeiro de 2009, ocorreu parcialmente, por motivos que serão debatidos posteriormente. Os principais limites aplicados para ônibus urbanos são apresentados resumidamente na Tabela 8.

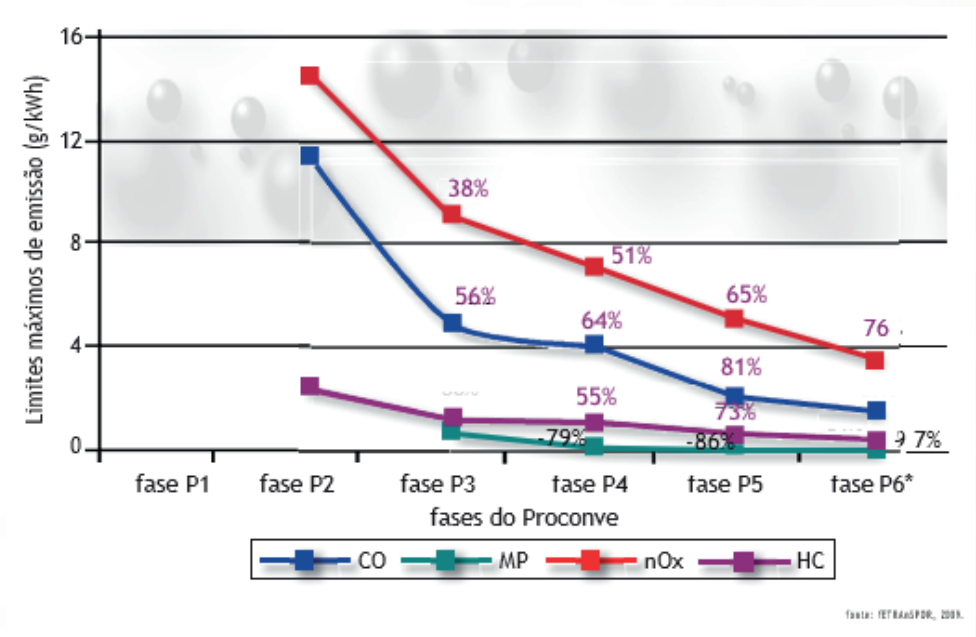
Tabela 8: Limites de emissões do Proconve para ônibus urbanos

FASES DO PROCONVE	início da implantação no BRASIL	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	nO <sub>x</sub> (g/kWh)	MP (g/kWh)
fase P1	1986	-	-	-	-
fase P2	1990	11,2	2,45	14,4	-
fase P3	1994	4,9	1,23	9,0	0,70
fase P4	1998	4,0	1,10	7,0	0,15
fase P5	2004	2,1	0,66	5,0	0,10
fase P6 <sup>5</sup>	2009	1,5	0,46	3,5	0,02

Fonte: CET/MapR8, 1837.

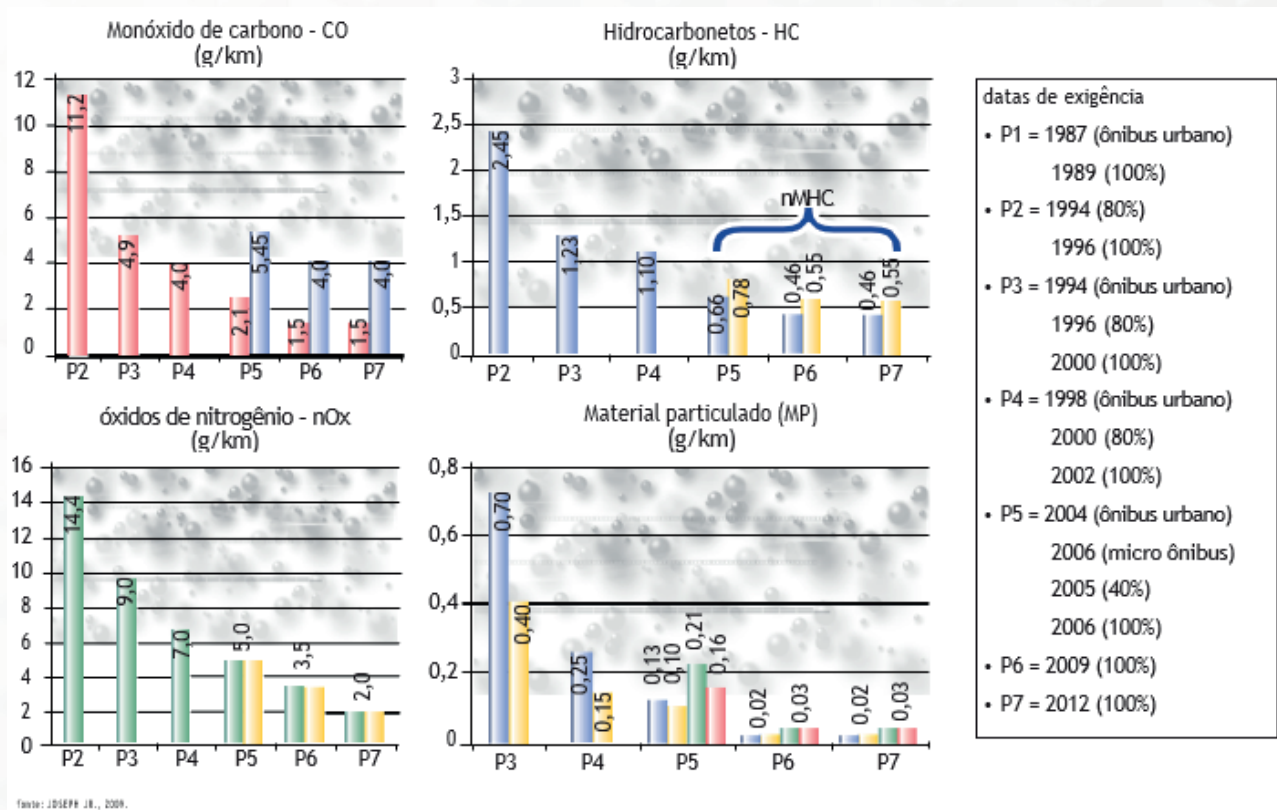
Como pode ser observado na Tabela 8, os limites de emissão de poluentes de motores e veículos do ciclo diesel, desde os primeiros padrões de emissão regulamentados até a fase P5 do Proconve, atualmente em vigor em todo o território nacional, apresentaram as seguintes reduções: 65% de óxidos de nitrogênio, 73% de hidrocarbonetos, 81% de monóxido de carbono e 86% de material particulado. Com a entrada em vigor da fase P6 do Proconve, estas reduções seriam ainda mais significativas: 76% de nOx, 81% de HC, 87% de CO e 97% de MP. A figura 15 ilustra isso de forma mais evidente.

Figura 15: Redução dos níveis de emissão das fases do Proconve para veículos pesados



As fases do Proconve exclusivas para veículos pesados podem ser observadas, resumidamente, na figura 16, onde também são identificados os períodos de compromisso para sua implementação.

Figura 16: evolução das fases do Proconve para veículos pesados

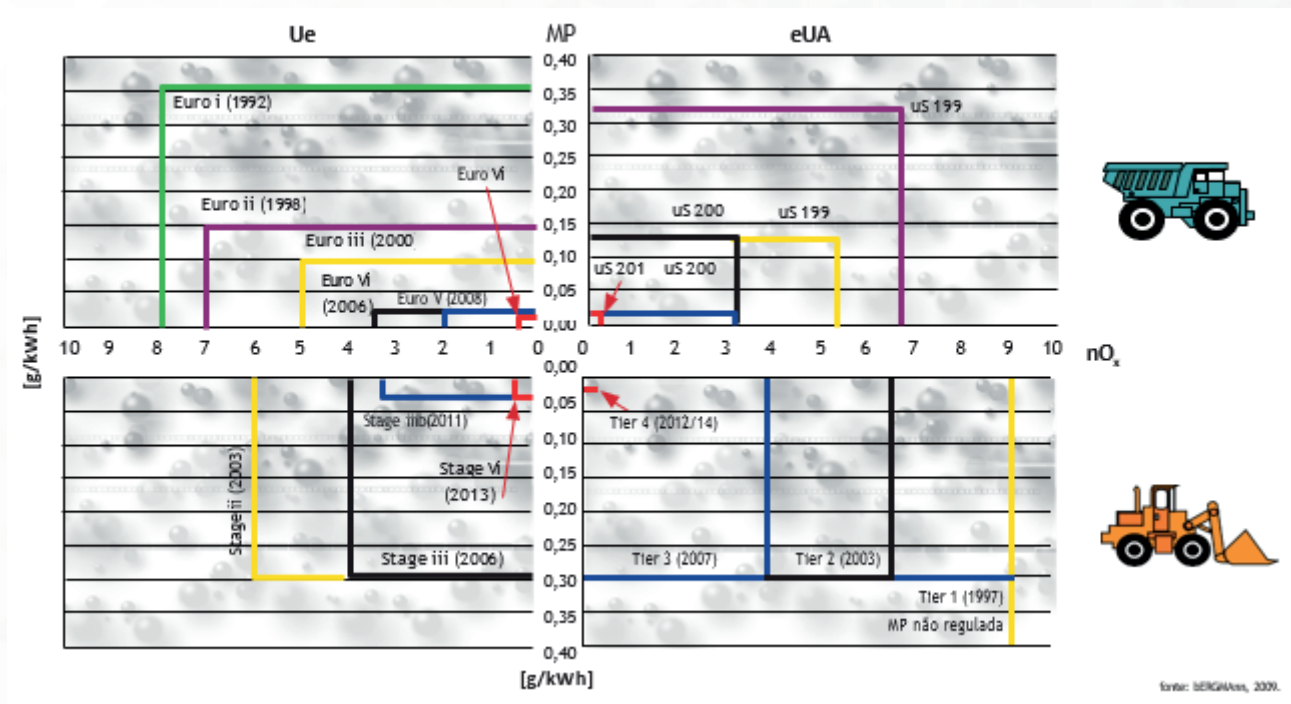


<sup>5</sup> Esta fase não foi implementada para os veículos pesados. A fase 7 posterior a ela, ficou programada para substituí-la, a partir do ano de 2012. isto será descrito em detalhes ainda neste texto.

Os padrões de emissão regulamentados pela legislação brasileira para veículos do ciclo diesel têm como base aqueles adotados na Comunidade Europeia (denominados Euro), entretanto, com uma defasagem de aproximadamente quatro anos, devido a questões de custo e capacidade da indústria nacional para adaptação aos novos, e cada vez mais restritivos, padrões de emissão. Portanto, a fase P3 do Proconve equivale à fase Euro i, empregada na Europa, e assim por diante, até a fase P6 do Proconve, parcialmente introduzida no Brasil em janeiro de 2009, que equivale à fase Euro iv (em vigor na Europa de 2006 até outubro de 2009, quando passou a vigorar o padrão Euro V).

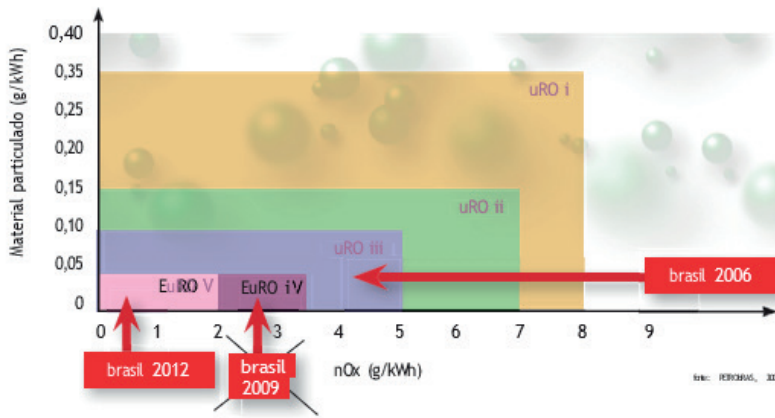
Os padrões de restrição de emissão de poluentes para veículos pesados adotados na Europa diferem ligeiramente dos norte-americanos, conforme ilustrado na figura 17. Esta diferença se estreitou ao longo dos anos e, com as novas fases que passam a vigorar nos EUA em 2010 e na Europa em 2012, as restrições se tornarão praticamente equivalentes.

Figura 17: comparativo entre os fatores máximos de emissão estabelecidos para veículos pesados na Europa e nos EUA



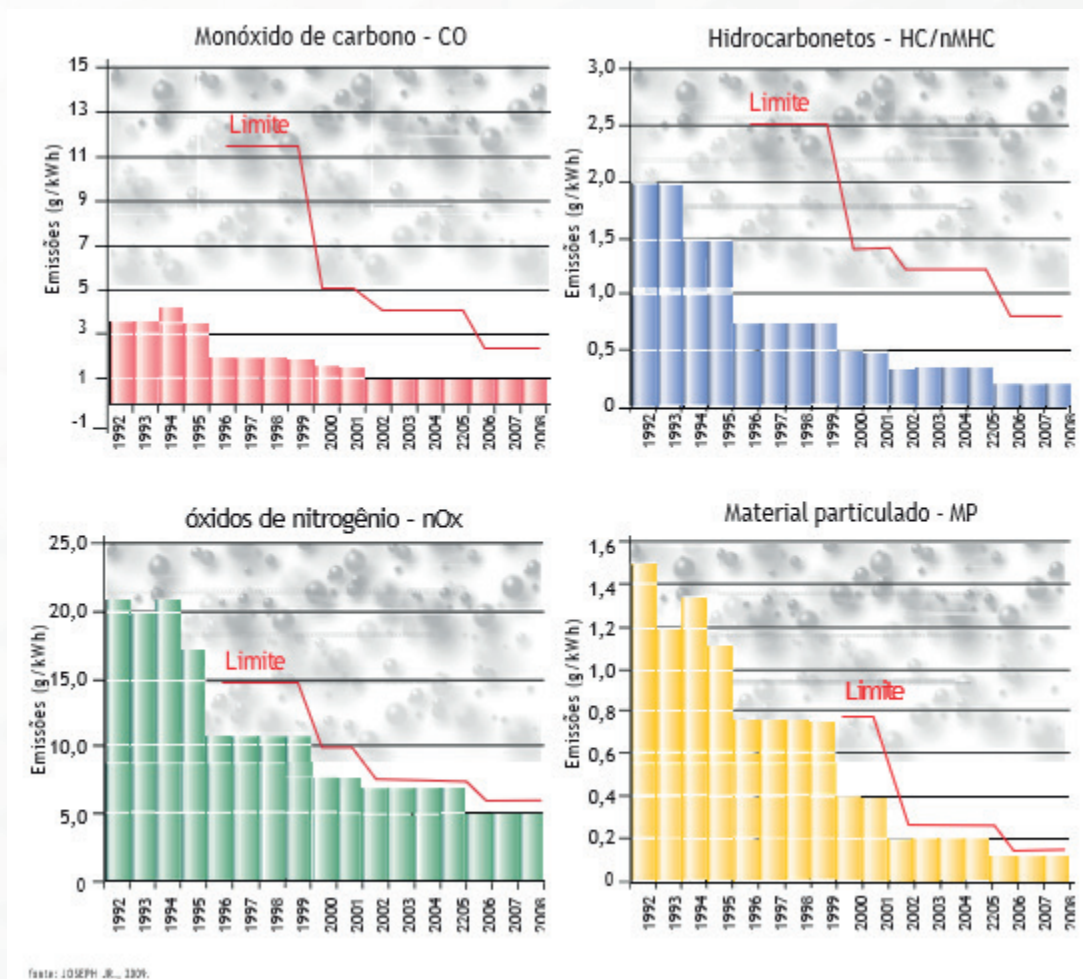
A grande dificuldade que se apresenta à redução dos níveis de emissão de gases poluentes dos motores do ciclo diesel está associada exatamente a apenas dois tipos – material particulado e óxidos de nitrogênio –, uma vez que, por construção, eles possuem baixas emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos. Todavia, as emissões de nOx e MP apresentam correlação inversa, ou seja, quando se procura reduzir as emissões de MP, eleva-se, conseqüentemente, as de nOx. As montadoras buscam, então, equilibrar ambas, visando às menores reduções possíveis. A figura 18 ilustra o esforço da legislação ambiental europeia (que espelha as fases nacionais do Proconve) para reduzir estes gases.

Figura 18: Diagrama da evolução dos padrões europeus de emissão de gases poluentes de veículos do ciclo diesel, com a representação da posição brasileira no processo



É importante ressaltar o empenho da indústria automobilística nacional nos últimos anos, demonstrado pela figura 19, a qual mostra que os veículos nacionais produzidos têm sido homologados e comercializados com padrões de emissão mais baixos do que aqueles estipulados pelas fases do Proconve.

Figura 19: Comparação entre os fatores máximos de emissão estabelecidos pelo Proconve e aqueles efetivamente alcançados pelas montadoras nacionais nos últimos anos.

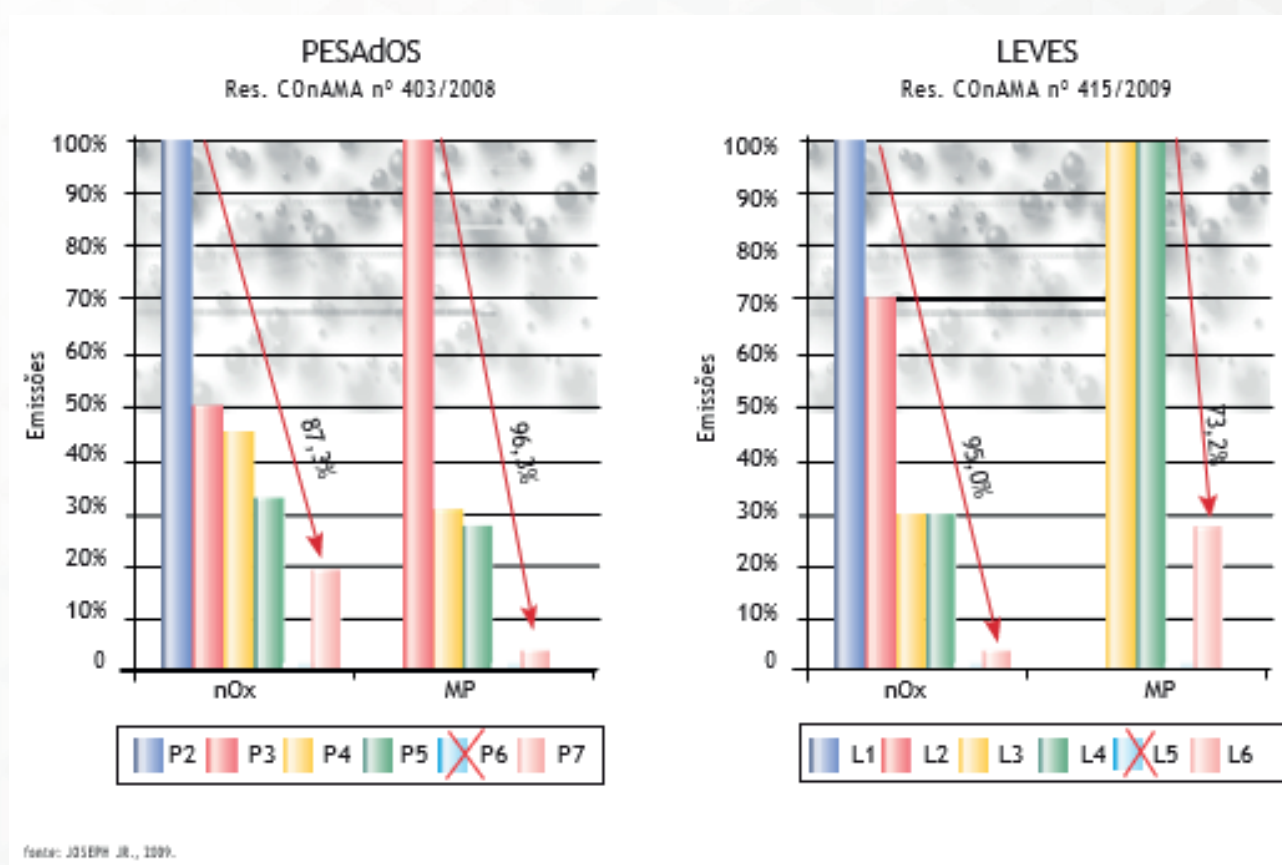


Para o Proconve, a qualidade do combustível e a concepção tecnológica do motor são os principais fatores de emissão dos poluentes. Por isso, é necessário dispor de tecnologias avançadas de combustão e de dispositivos de controle de emissão, bem como de combustíveis “limpos”, com baixo potencial poluidor (CETESb, 2009). neste desafio, a implantação da fase P6 foi dificultada ao exigir, para seu atendimento, um diesel com concentração máxima inferior a 50 ppm (partes por milhão) de enxofre.

Os motores a diesel com injetores eletrônicos permitiram que os antigos motores do ciclo diesel atendessem aos padrões de emissões do Proconve fase P5, mas não às especificações da fase P6 e P7, que necessitam da incorporação de sistemas de pós-tratamento de gases para seguir todas as suas exigências. Porém, no estágio tecnológico atual, alguns destes equipamentos de pós-tratamento são incompatíveis com os níveis de enxofre no combustível<sup>6</sup> da fase atual do Proconve (AfAEEVAS, 2005).

A Resolução Conama nº 403, de 11 de novembro de 2008, influenciada pelo não cumprimento da fase P6 do Proconve para veículos pesados, estabeleceu a nova fase P7 (equivalente ao Euro V adotado na Europa) para estes tipos de veículos, a vigorar a partir de janeiro de 2012. Em 2009, outra Resolução Conama nº 415, voltada apenas para veículos leves, também estipulou novos padrões de emissão para os mesmos, com entrada em vigor a partir de 2013. A figura 20 ilustra o que ocorrerá, em termos de redução de emissão de gases, através destas novas fases do Proconve (veículos leves e pesados).

Figura 20: Redução dos níveis de emissão de veículos pesados e leves a partir do ano de 2012 e 2013



<sup>6</sup> Atualmente, existem três tipos de diesel no Brasil: o diesel S50, abastecido em algumas cidades dentro de regiões metropolitanas; o S500, distribuído em algumas regiões metropolitanas; e o S1800, utilizado no restante do país, nas cidades do interior.

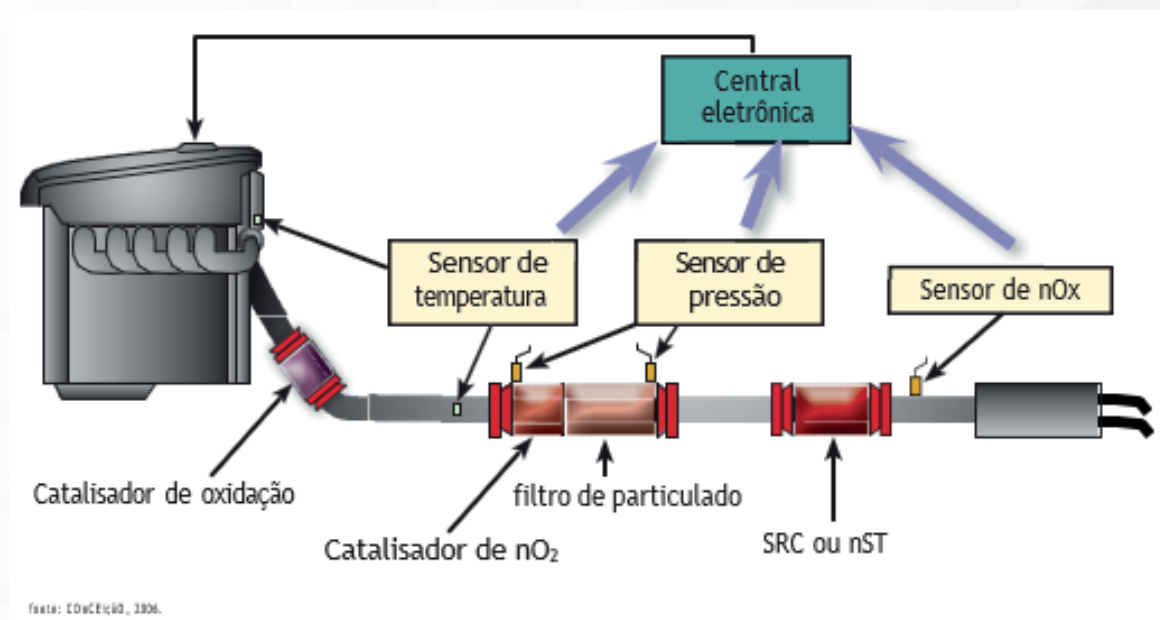
Todo o esforço do Proconve tem sido de reconhecer que a emissão de poluentes por veículos automotores contribui significativamente para a deterioração da qualidade ambiental, especialmente nos grandes centros urbanos. A utilização de tecnologias automotivas adequadas permite atender às necessidades de controle da poluição, assim como prazos adequados são necessários para promover a qualidade dos combustíveis automotivos nacionais e viabilizar o desenvolvimento dessas tecnologias (PROCONVE, 2004).

## 2.2. Motores

A evolução dos veículos a diesel nacionais iniciou-se efetivamente a partir da década de 90, procurando equilibrar a qualidade das emissões, o desempenho e a eficiência energética dos motores. O grande desafio dos motores do ciclo diesel do futuro reside em compatibilizar as exigências para redução dos padrões de emissão com a performance, durabilidade e eficiência energética dos motores a diesel convencionais, sempre presentes na operação de transportes rodoviários pesados de cargas e de passageiros.

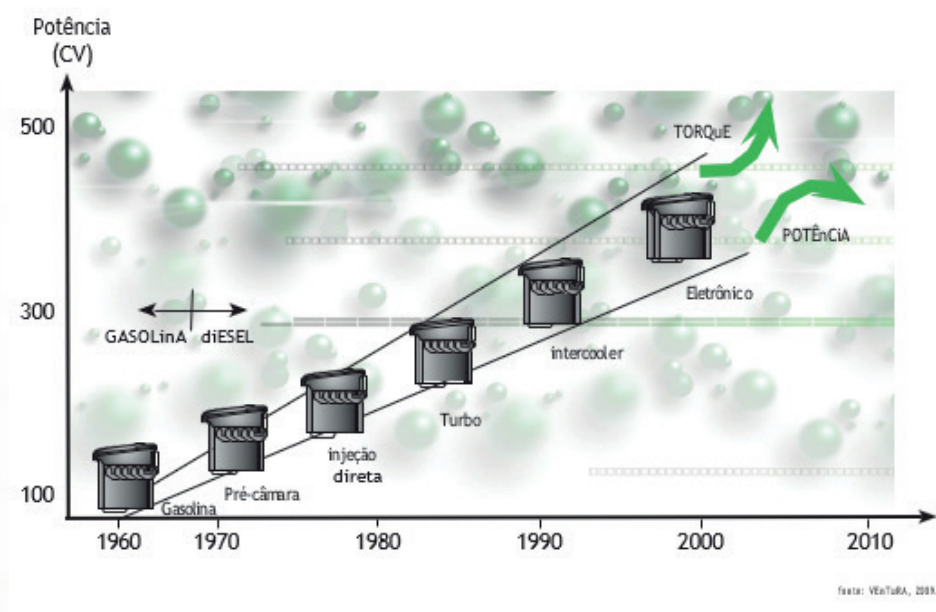
Alguns dispositivos de controle das emissões dos gases de escapamento deverão ser incorporados aos motores, para tornar os veículos do ciclo diesel mais limpos e ambientalmente corretos. A figura 21 ilustra, esquematicamente, os mesmos. De fato, os veículos a diesel modernos, já em operação hoje nos países industrializados, são tão eficientes e limpos quanto os do ciclo Otto que queimam gasolina, álcool ou gás natural (Semove, 2007).

Figura 21: Diagrama dos motores diesel modernos já utilizados na Europa e nos EUA atualmente



A evolução tecnológica dos veículos pesados de transporte de carga e de passageiros, no Brasil e no mundo, foi demandada, inicialmente, por outros fatores que não os ambientais. No transporte de carga, por exemplo, a exigência de maior capacidade, a partir da década de 60, influenciou diretamente a fabricação de motores diesel de elevada performance. Antes deste período, ainda eram fabricados veículos pesados movidos a gasolina, com tecnologia de motores do ciclo Otto<sup>7</sup>. A figura 22 ilustra a evolução dos veículos pesados no Brasil, a partir da década de 1960.

Figura 22: Evolução dos níveis de carga exigidos para veículos pesados no Brasil nas últimas décadas



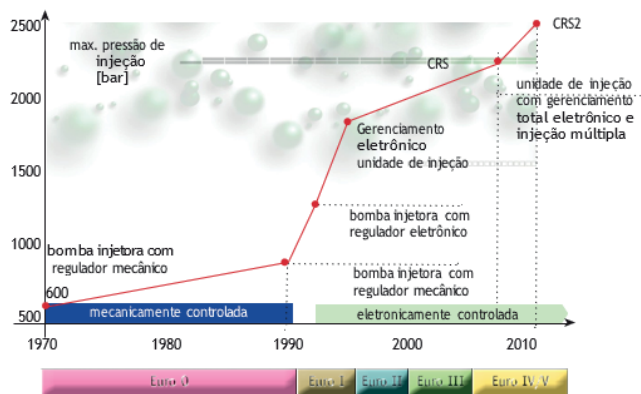
Com os constantes aumentos de carga, potência e torque exigidos nos serviços dos motores diesel, iniciou-se uma busca pelo desenvolvimento de novos sistemas de injeção e periféricos para os mesmos, visando integrar aumento da eficiência energética, performance e, mais tarde, redução dos níveis de emissão. Entre os itens de inovação tecnológica dos motores diesel nacionais, poucos são tão significativos quanto os relacionados ao aumento dos níveis de pressão do sistema de injeção do combustível. Os motores do ciclo diesel são construídos para injetar o combustível diretamente na câmara de combustão, no momento exato da queima, com sua atmosfera já preparada pela compressão do ar atmosférico pelos pistões.

Portanto, quanto maior a pressão de injeção nos bicos injetores, melhor será a pulverização e, conseqüentemente, a qualidade da combustão, o que gera aumento da eficiência energética, redução do consumo de combustível e aprimoramento da performance total do equipamento (em termos de potência). A figura 23 ilustra o avanço destes níveis de pressão de injeção, a partir da década de 70, demonstrando a sua correlação com os padrões de emissão de poluentes estabelecidos na Europa.

<sup>7</sup> A eficiência energética dos motores do ciclo Otto é menor que aquela obtida por veículos do ciclo diesel. Por este motivo, passou-se a substituir a frota de veículos pesados no Brasil e no mundo por veículos do ciclo diesel.

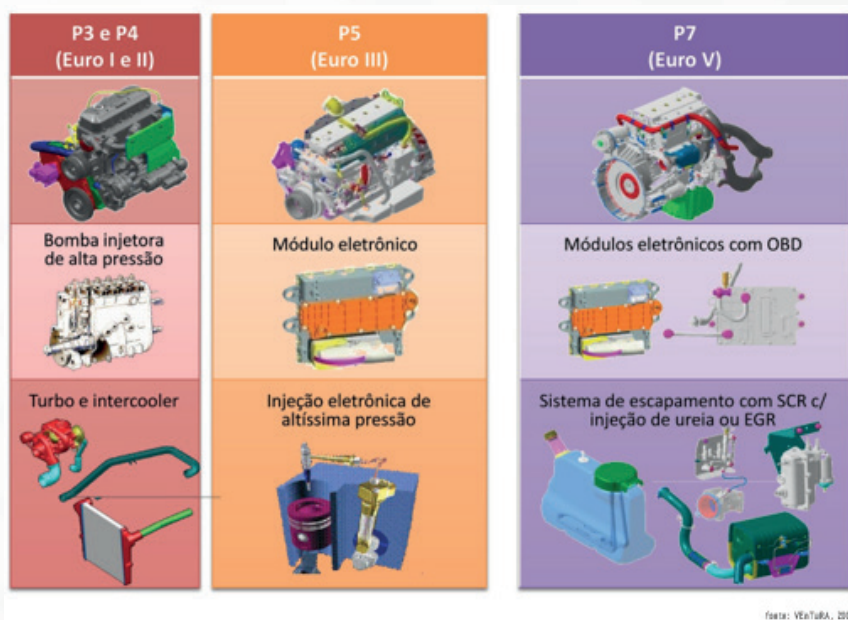


Figura 23: Evolução dos níveis de pressão de injeção dos motores diesel no Brasil associados ao atendimento dos padrões de emissão de poluentes na europa



No Brasil, conforme apresentado anteriormente, os padrões de emissão de gases para veículos do ciclo diesel foram implementados pelo Proconve, seguindo rigorosamente os da Europa, os chamados padrões Euro. A figura 24 ilustra a evolução dos principais periféricos<sup>8</sup> dos motores diesel, necessários ao atendimento dos níveis cada vez mais restritivos de emissão de gases. nenhum dos periféricos relacionados à fase P7 do Proconve, com previsão para 2012, foi implementado no Brasil. Outros dispositivos poderão ser acrescentados<sup>9</sup>, dependendo da estratégia das montadoras para atender aos padrões de emissão estabelecidos para o novo período de restrição.

Figura 24: Alguns dispositivos incorporados ao motor diesel para o atendimento aos padrões de emissão de poluentes



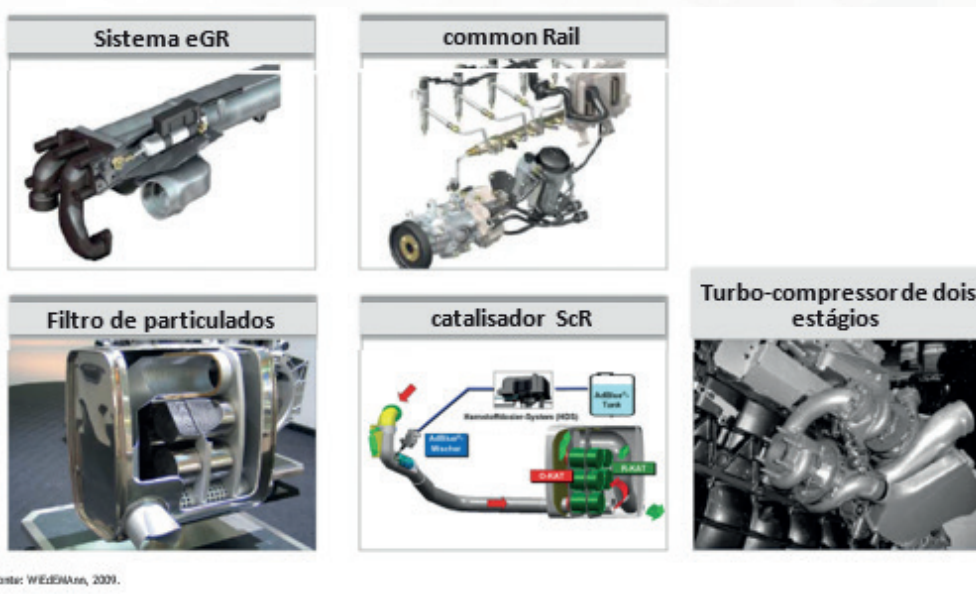
<sup>8</sup> Tanto periféricos mecânicos como eletrônicos passaram a ser implementados nos motores a diesel, sendo a eletrônica indispensável para o atendimento dos atuais níveis de restrição ambiental.

<sup>9</sup> Existem diferentes estratégias e dispositivos periféricos necessários ao atendimento dos novos e mais restritivos padrões de emissão do Proconve P7. As montadoras estão desenvolvendo soluções que poderão divergir umas das outras, entretanto, todas terão que atingir os níveis já estabelecidos pela legislação vigente.

Os especialistas das áreas de inovação e desenvolvimento de Produtos das principais montadoras mundiais apresentam pelo menos cinco dispositivos básicos necessários ao atendimento dos novos padrões de emissão do Proconve fase P7, em vigor a partir de 2012, a saber (figura 25):

- Sistema EGR - Exhaust Gas Recirculation;
- Common Rail;
- Filtro de particulados;
- Catalisador SCR - Selective Catalytic Reduction;
- Turbo-compressor de dois estágios.

Figura 25: Principais dispositivos necessários ao atendimento dos novos padrões de emissão da fase P7 do Proconve em 2012

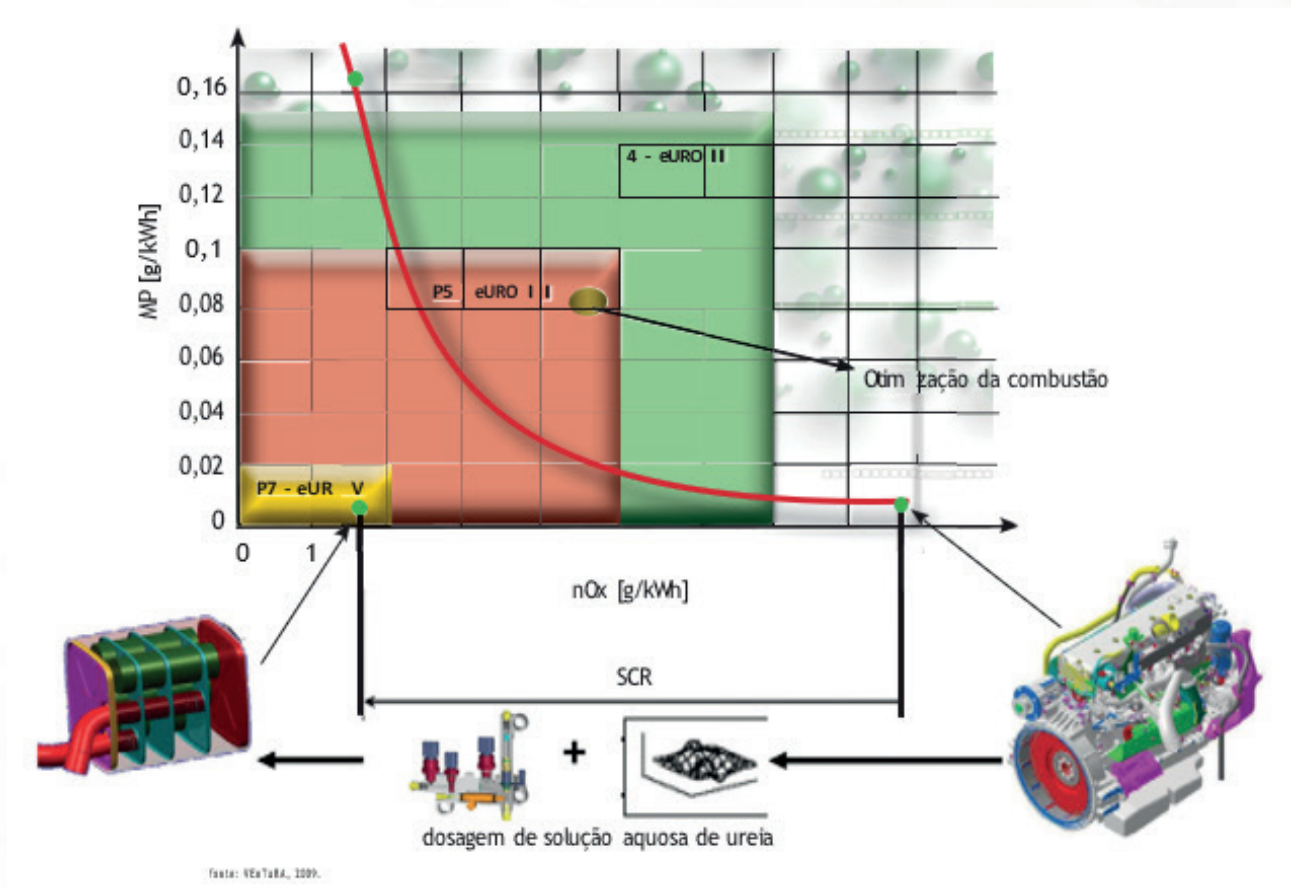


Conforme abordado anteriormente, os principais tipos de poluentes emitidos por motores a diesel são material particulado e óxidos de nitrogênio, que apresentam correlação inversa de emissões. deste modo, para atendimento aos padrões superiores ao Euro iii (Proconve P5), as montadoras possuem duas estratégias distintas de ajuste dos motores com implantação de equipamentos de pós-tratamento dos gases:

- Otimização da combustão; e
- Atraso no tempo de injeção com empobrecimento da mistura ar/com- bustível.

Sempre que a combustão no ciclo diesel é otimizada, diminui-se o nível de MP, porém, eleva-se inexoravelmente a emissão de nOx. A figura 26 ilustra esta estratégia para atendimento aos novos padrões de emissão do Proconve P7, na qual se observa que o enquadramento da emissão de MP pode ser alcançado, mas com uma enorme penalidade para as emissões de nOx.

Figura 26: Alcance dos padrões de emissão Proconve P7 – euro V - através da otimização da combustão e posterior implementação do sistema ScR



Por este motivo, para corrigir os desequilíbrios existentes entre as emissões desses dois poluentes, faz-se necessário o uso de equipamentos de pós-tratamento dos gases da exaustão, os catalisadores, como o SCR - Selective Catalytic Reduction.

O Sistema Catalítico Seletivo (SCR)<sup>10</sup> foi desenvolvido para aplicação em veículos pesados movidos a óleo diesel. Este sistema visa à redução do óxido e dióxido de nitrogênio, através de reações químicas, sob temperaturas elevadas (180<sup>o</sup> a 38<sup>o</sup>C), envolvendo amônia e oxigênio. A amônia é injetada através de uma mistura aquosa de ureia, contida em um reservatório especial sobre o catalisador. Esta injeção é controlada eletronicamente por sensores que medem os níveis de emissão de nOx.

A figura 27 ilustra este dispositivo, um sistema eletronicamente interligado ao restante do motor, cuja complexidade se dá pela existência de três seções catalíticas. As principais reações que ocorrem dentro do sistema SCR podem ser observadas na figura 28 (AVELLA, 2005).

<sup>10</sup> Existem outros dispositivos de pós-tratamento de gases de motores diesel destinados a reduzir os níveis de emissão de óxidos de nitrogênio, como o nST (NOx Storage Trap), cujo uso não é priorizado em veículos a diesel por possuir grande sensibilidade a elevados teores de enxofre presente no combustível. Por possuir boa resistência a teores de enxofre mais elevados, mesmo em níveis superiores ao S50, o sistema SCR é considerado mais adequado para aplicações em veículos a diesel pesados. O efeito do teor de enxofre sobre a eficiência do sistema SCR é relativamente pequeno e reversível, não gerando prejuízos permanentes sobre o equipamento, desde que não haja pré-catalisador de oxidação no sistema de pós-tratamento (AVELLA, 2005). Portanto, em situações de utilização de óleo diesel com teor de enxofre superior a 50 ppm, não é aconselhado o uso de pré-catalisadores de oxidação, pois estes passam, também, a oxidar o SO<sub>2</sub> em SO<sub>3</sub> formando compostos ácidos que trarão efeitos adversos e irreversíveis sobre o sistema SCR.

Figura 27: Principais dispositivos relacionados ao sistema ScR

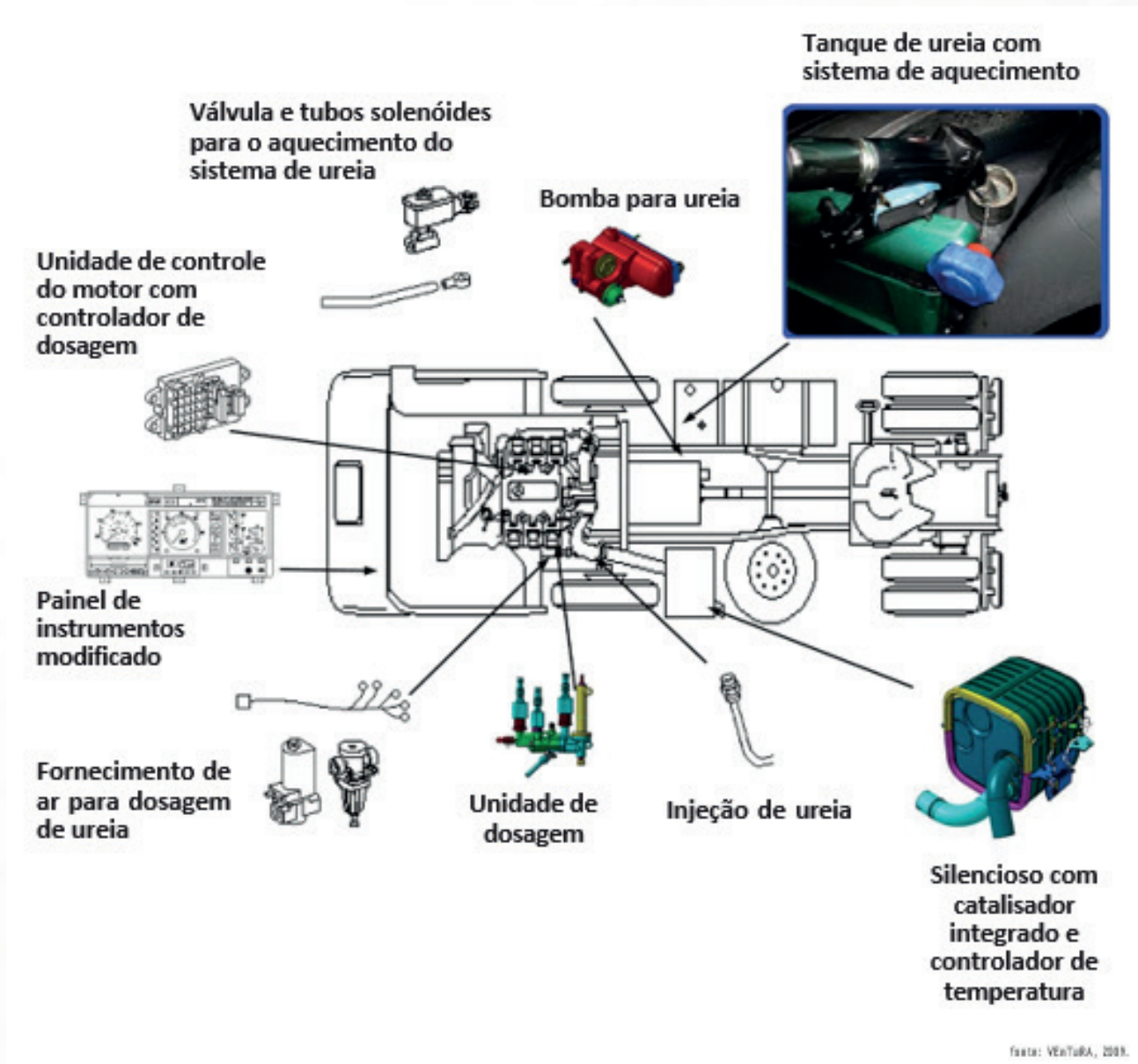
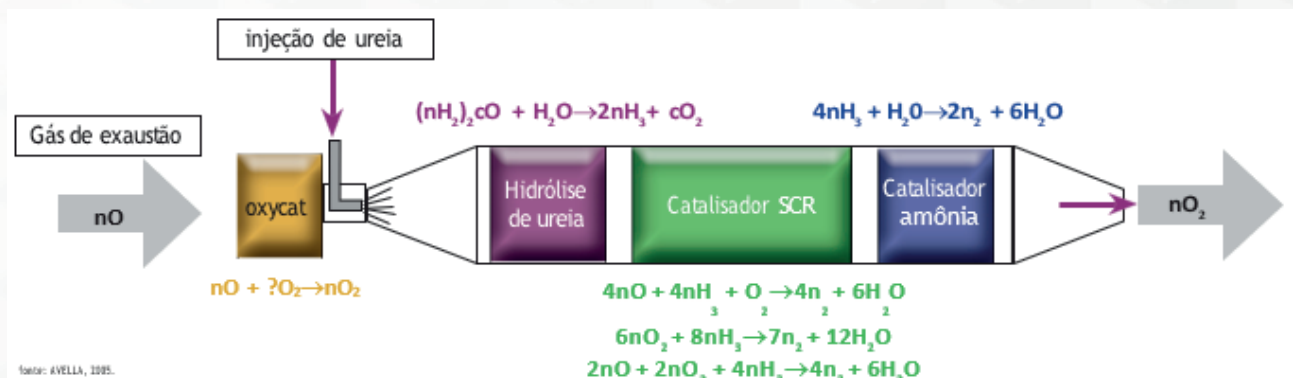


Figura 28: Sistema catalisador do ScR (três níveis)



A solução de ureia e água a ser injetada no sistema SCR é conhecida internacionalmente como Adblue, mas no Brasil a substância foi definida pela indústria automobilística como ARLA32. Esta solução aquosa, composta de 1/3 de ureia e 2/3 de água, não é considerada tóxica, nem explosiva, e sua temperatura de congelamento é inferior à da água (-11,5°C). A autonomia de um tanque convencional de 60 litros de ARLA32 é de 6.600km, atendendo aos padrões de emissão Euro IV (fase P6, ainda não implantada), e de 4.000km, para o atendimento aos padrões da fase P7 do Proconve – Euro V (REnAuLT, 2006).

Quando o reservatório de ARLA32 nos veículos esvazia, o SCR para de ser efetivo na redução dos níveis de nOx. Por isso, no Brasil, existe previsão de integração deste sistema ao controle do motor, para interromper ou limitar os níveis de operação do veículo, exigindo o devido abastecimento do reservatório.

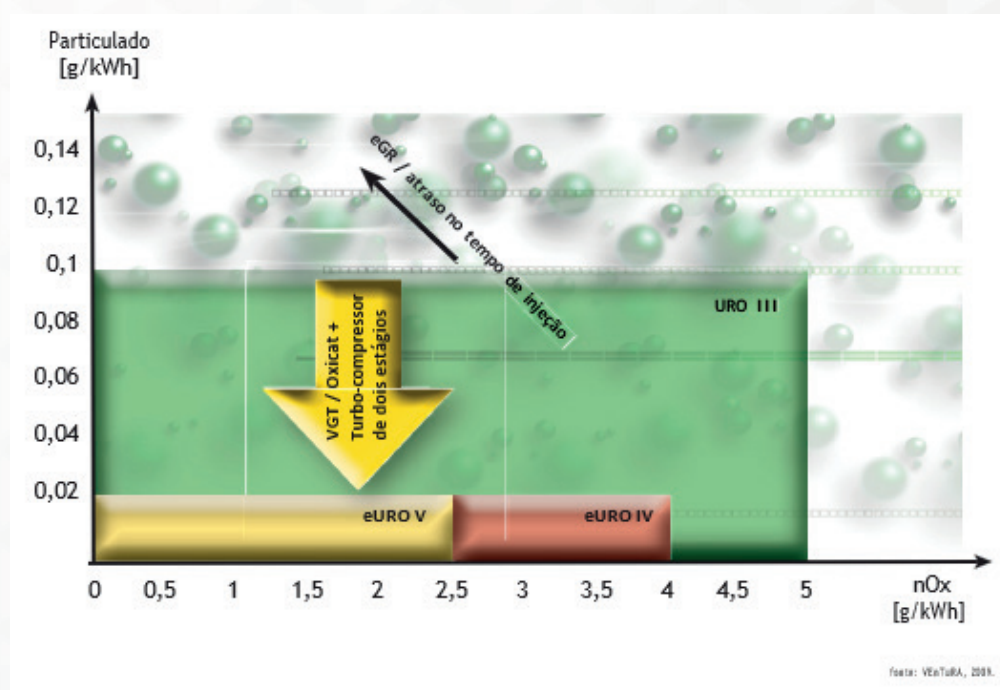
Normalmente, o uso de sistemas catalisadores pode causar perdas de cargas no escape dos gases, o que ocasiona maiores consumos de combustível. No entanto, o uso do SCR isoladamente pode não implicar diminuição do rendimento energético dos veículos a diesel.

A segunda estratégia age diretamente na combustão, atrasando o ponto da injeção e tornando a mistura ar/combustível um pouco mais pobre, com a utilização de uma válvula de recirculação dos gases de escape chamada EGR

- Exhaust Gas Recirculation. Esta alternativa reduz diretamente o nOx produzido na combustão, mas eleva inexoravelmente os níveis de MP.

A figura 29 ilustra esta estratégia, que torna dispensável o uso do sistema SCR - Selective Catalytic Reduction, mas exige a utilização de outros dispositivos periféricos, como EGR, VGT - Variable Geometry Turbo (turbo-compressor de geometria variável), Oxicat (catalisador de oxidação), dPf - Diesel Particulate Filter (filtro de particulados) e turbo-compressor de dois estágios, para atendimento aos padrões de emissão de MP.

Figura 29: Alcance dos padrões de emissão do Proconve P7 – euro V - através do uso de sistemas periféricos



O sistema de recirculação dos gases de escapamento - EGR (Exhaust Gas Recirculation) reduz as emissões de óxidos de nitrogênio, através da manutenção da temperatura de combustão abaixo de 1.400°C, mediante a admissão no motor de pequena quantidade de gases de escapamento (recirculação), de maneira a “contaminar” a mistura ar/combustível. Com a redução do teor de oxigênio na combustão, o nOx produzido e liberado será menor. A figura 30 ilustra o sistema EGR e sua interação com o motor. na figura 31, é possível ver detalhadamente os itens principais da válvula EGR.

Figura 30: Sistema eGR de recirculação de gases resfriados

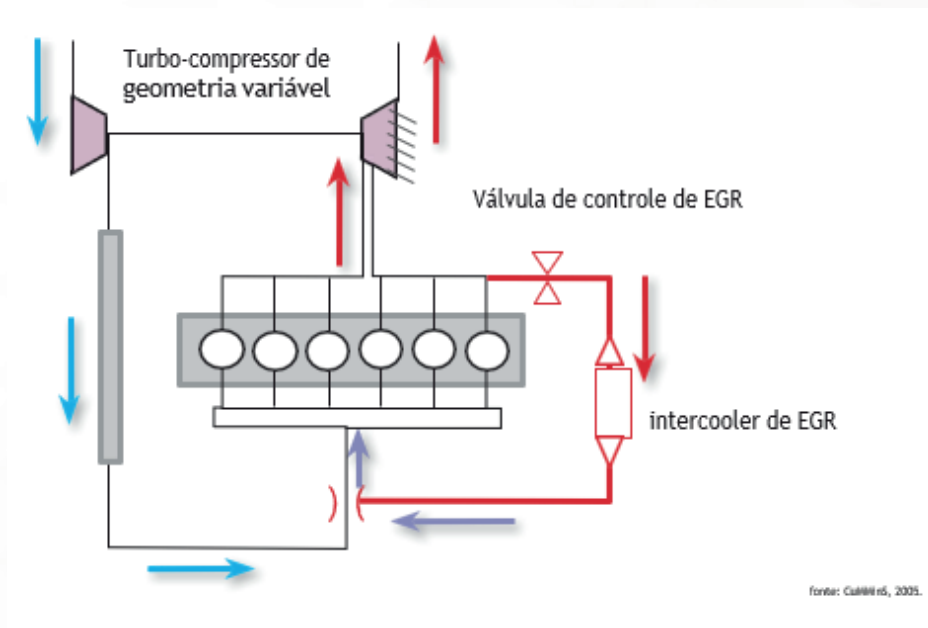
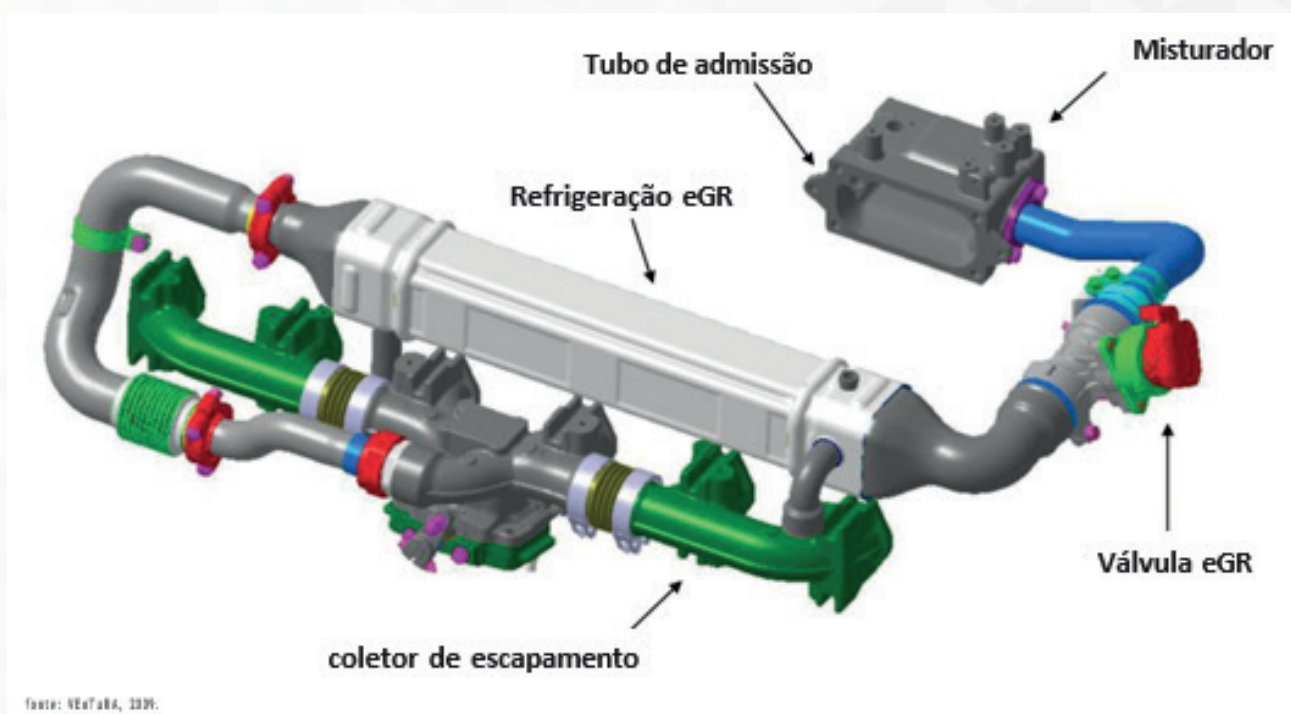


Figura 31: Visualização dos principais itens relacionados ao sistema eGR que interligam o tubo de admissão ao escapamento

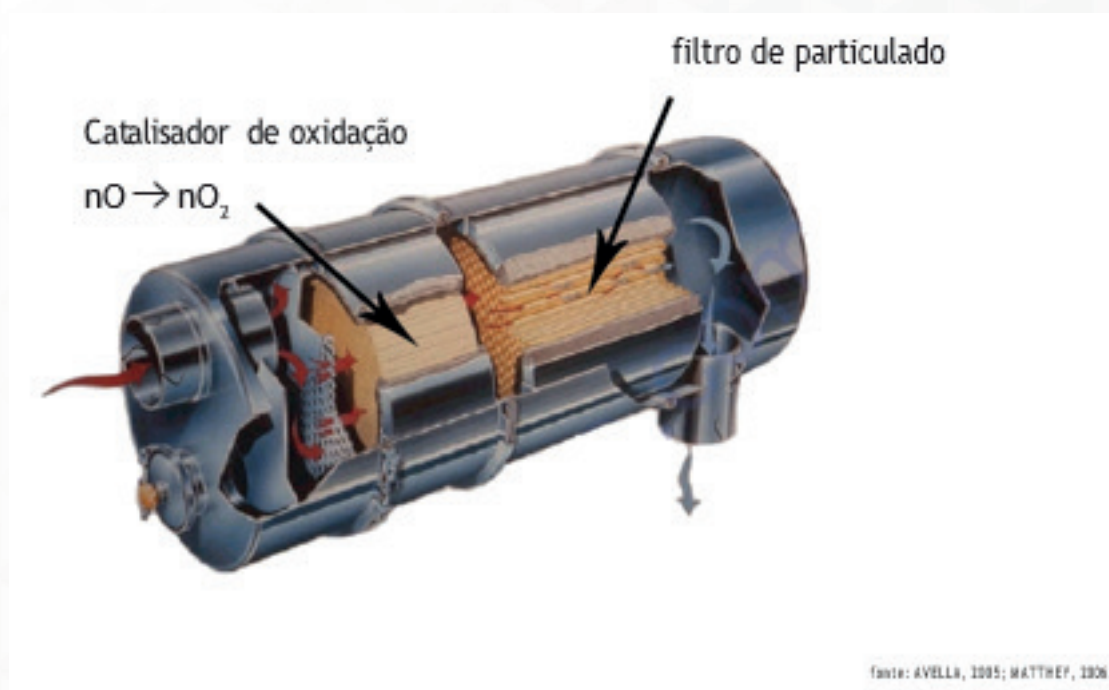


O catalisador de oxidação (dOC), conhecido também como Oxicat, para veículo a diesel é um sistema de pós-tratamento de gases que visa à oxidação do monóxido de carbono e hidrocarbonetos presentes nos gases de escape. Este sistema é relativamente sensível à concentração de enxofre no diesel, mas raramente é utilizado separadamente para atendimento aos padrões de emissão Euro IV e Euro V. Geralmente, vem associado a outros dispositivos de pós-tratamento de gases, principalmente como primeiro elemento de redução dos níveis de emissão e, em série, com um filtro de particulados – dPf.

O filtro de particulados, sistema conhecido como dPf (Diesel Particulate Filter), visa à redução dos níveis de material particulado dos veículos do ciclo diesel. Existem dois tipos disponíveis no mercado: o CR-dPf (Continuous Regeneration Diesel Particulate Filter), também conhecido como CRT TM (Continuously Regenerating Trap); e o CdPf (Catalytic Diesel Particulate Filter).

O sistema dPf mais comumente utilizado em veículos pesados é o CR-dPf (figura 32), o qual apresenta um pré-catalisador de oxidação, cuja função é de promover a oxidação do nO em nO<sup>2</sup> (VERGANI, 2005). Este processo regenera posteriormente o material particulado acumulado no filtro (AVELLA, 2005).

Figura 32: Filtro de particulado tipo cR-DPF

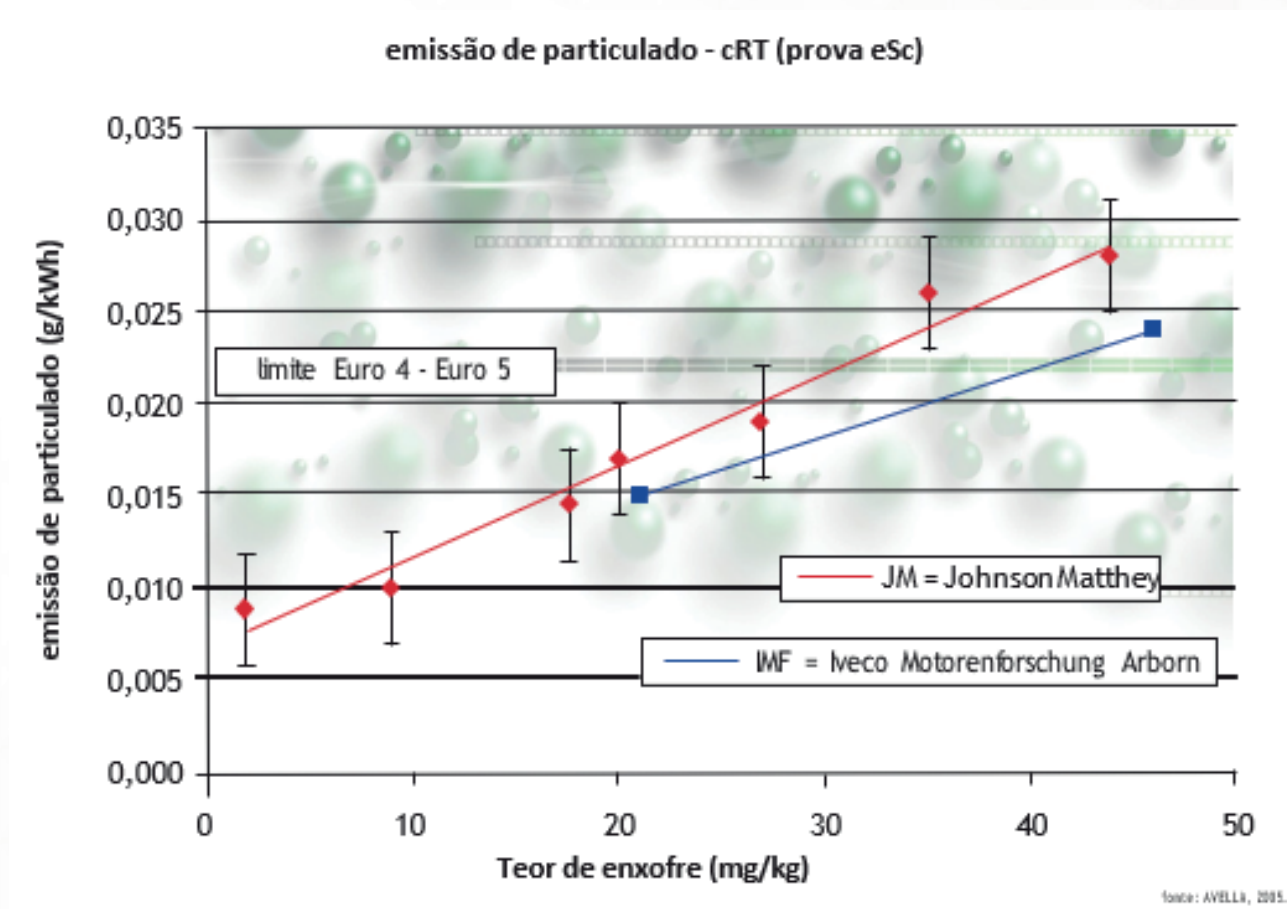


Para que o processo de regeneração do MP pelo sistema CR-dPf seja eficiente, é necessária a utilização de óleo diesel com concentração inferior a 50 ppm de enxofre<sup>12</sup>. A figura 33 apresenta a sensibilidade do filtro CR-dPf ao teor de enxofre do óleo diesel, para dois fabricantes distintos do mesmo produto.

<sup>11</sup> Este catalisador também promove a oxidação do HC e do CO (VERGANI, 2005).

<sup>12</sup> A utilização de óleo diesel com concentração superior a 50 ppm apresentará ineficiência na regeneração do material particulado acumulado no filtro, elevando a restrição à passagem dos gases pelo escape, aumentando a perda de carga e o consumo do veículo. Teores mais altos de enxofre ocasionam emissão de maiores níveis de SO<sub>2</sub>, cuja oxidação forma SO<sub>3</sub>, o qual passa a competir com a oxidação do nO para nO<sub>2</sub> no pré-catalisador de oxidação do filtro CR-dPf (AVELLA, 2005). A oxidação do nO é essencial para a regeneração do material particulado acumulado no filtro de particulados, pois a formação e a maior emissão de SO<sub>3</sub> podem ocasionar um problema secundário de emissões. Estes sulfatos possuem características ácidas, que podem comprometer a vida útil do sistema de pós-tratamento, bem como formar ácido sulfúrico na atmosfera ou no escape do veículo.

Figura 33: Redução dos níveis de material particulado utilizando-se cR-DPF de dois fabricantes com diferentes níveis de concentração de enxofre no óleo diesel



## 2.3. Combustível

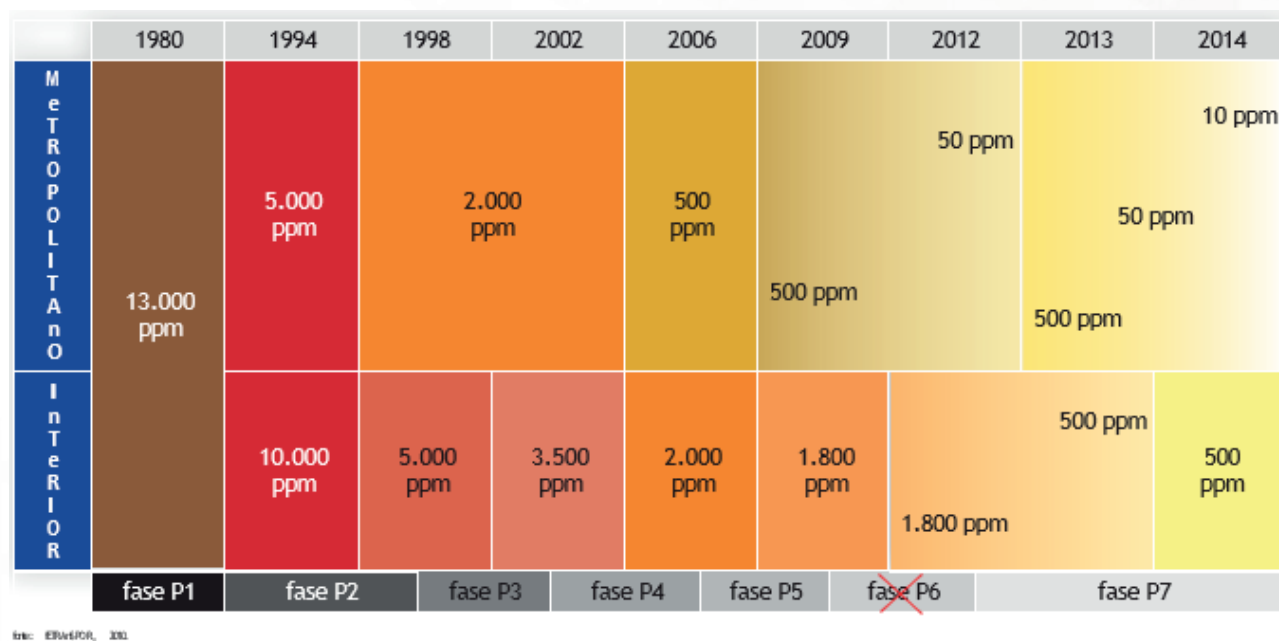
A qualidade dos combustíveis também desempenha um importante papel na redução da emissão de gases poluentes. no óleo diesel, a diminuição dos níveis de concentração de enxofre, nos últimos 25 anos, contribuiu significativamente para a melhoria da qualidade de vida nas cidades brasileiras. na década de 80, quando não havia regulamentação, os veículos a diesel utilizavam óleo diesel com 13.000 ppm (partes por milhão) de enxofre, nível elevadíssimo para os atuais limites de emissão.

A partir de 1994, passaram a existir dois tipos de óleo diesel comercializados no Brasil, segundo a região de consumo do combustível e a concentração de enxofre: o óleo diesel metropolitano, fornecido com menor teor de enxofre nas regiões metropolitanas, com grande concentração de pessoas e veículos e maiores problemas de poluição atmosférica; e o óleo diesel interior, utilizado no interior do país, com concentração mais alta de enxofre.

A figura 34 mostra a evolução dessa concentração no óleo diesel fornecido no Brasil. A quantidade de 50 ppm de enxofre, no combustível que atualmente abastece a frota de ônibus do município do Rio de Janeiro, significa uma redução de 99% do teor de enxofre do óleo diesel nacional, nestes últimos anos de inovações tecnológicas do setor.



Figura 34: Diagrama da evolução do óleo diesel utilizado no transporte rodoviário brasileiro



Em 2008, com a proximidade da entrada em vigor da fase P6 do Proconve, estabelecida para o dia 1º de janeiro de 2009, verificou-se que as partes envolvidas na produção de motores e combustíveis ainda não tinham se adequadado às novas exigências. A AnP (Agência nacional do Petróleo) tardou a especificar o óleo diesel S50, denominação para o diesel com 50 ppm de enxofre, à Anfavea (Associação nacional dos fabricantes de Veículos Automotores), o que era esperado pelas empresas fabricantes para iniciarem os testes dos novos motores adequados ao diesel S50. A Petrobras também aguardou a especificação do combustível mais limpo para iniciar a sua produção<sup>13</sup>.

Ao verificar que a nova fase P6 do Proconve não poderia ser implementada em janeiro de 2009, o Ministério Público federal (MPf), o Estado de São Paulo, o instituto brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos naturais Renováveis (ibama), a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), a AnP, a Petrobras, a Anfavea e 17 fabricantes de veículos e motores negociaram um acordo judicial, como resultado das duas ações civis públicas impetradas pelo MPf, ibama e Estado de São Paulo.

Este acordo firmou metas de adequação e fornecimento de combustível com menores teores de enxofre, além de outras contrapartidas relacionadas ao tema ambiental. Posteriormente, em virtude da não implantação da fase P6, foi antecipada a fase P7 pelo MMA – Ministério do Meio Ambiente<sup>14</sup>, em quatro anos, para janeiro de 2012, como forma de compensar as emissões não evitadas com a fase P6<sup>15</sup>.

O referido acordo determinou a implementação do óleo diesel com 1.800 ppm de enxofre, no interior, a partir de 1º de janeiro de 2009, e o fornecimento gradual do diesel S50 para determinadas capitais e regiões metropolitanas. um resumo do acordo pode ser observado na Tabela 9.

<sup>13</sup> A Petrobras alega, também, que independente de a sua produção interna do S50 ser iniciada, estaria pronta para importar o referido combustível no mercado internacional, o que também necessitaria da especificação prévia da AnP.

<sup>14</sup> Esta antecipação foi formalizada com a publicação da Resolução Conama 403/2008.

<sup>15</sup> A fase 6 do Proconve, prevista pela Resolução Conama 315/02, foi negligenciada apenas para os veículos pesados. Para os veículos leves, os novos padrões de emissão foram devidamente implementados.

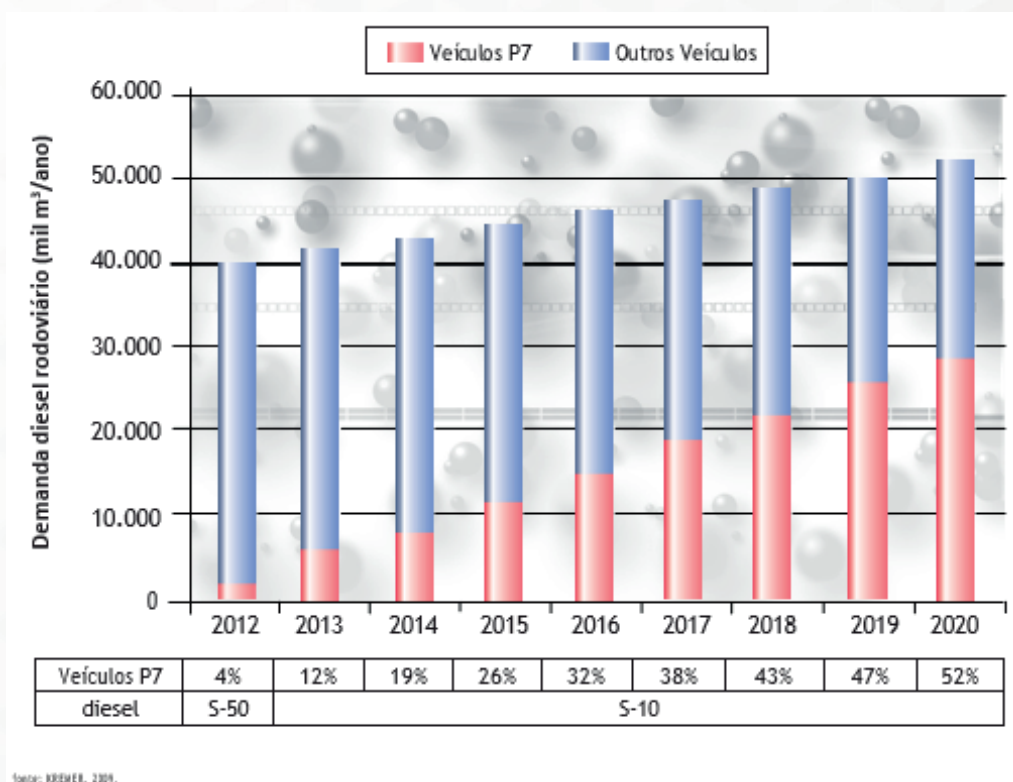
Tabela 9: Programação de introdução do óleo diesel mais limpo no transporte rodoviário brasileiro

DATA	REGIÕES	TEOR dE EnXOfRE (PPM)	
		ATuAL	fuTuRO
<b>diesel metropolitano</b>			
01/01/2009	frotas cativas de ônibus urbanos no Rio de Janeiro e São Paulo	500 → 50	↓ 10
01/05/2009	Todos os veículos a diesel nas regiões metropolitanas de Belém, Fortaleza e Recife		
01/08/2009	frotas cativas de ônibus urbanos em Curitiba		
01/01/2010	frotas cativas de ônibus urbanos em Belo Horizonte, Porto Alegre, Salvador e RMSP		
01/01/2011	frotas cativas de ônibus urbanos nas regiões metropolitanas do Rio de Janeiro, Baixada Santista, Campinas e São José dos Campos		
01/01/2013	início de oferta do novo óleo diesel para veículos Proconve P7		
<b>diesel interior</b>			
01/01/2009	Território nacional	2.000 → 1.800	↓ 500
01/01/2014			

Fonte: KREMER, 2009.

Segundo a Petrobras, a entrada dos novos e mais limpos combustíveis para veículos pesados está estruturada, em especial com a introdução do óleo diesel S10 a partir de 2013, alcançando, em 2020, o abastecimento de metade da demanda nacional de óleo diesel somente com ele. A figura 35 ilustra este cenário de evolução.

Figura 35: Diagrama do cenário de evolução da disponibilidade de óleo diesel mais limpo (S50 e S10) no Brasil até o ano de 2020



Esta tendência de redução da concentração do enxofre no óleo diesel está presente na Europa e nos EUA há mais tempo. nos EUA, desde 2006, já está disponível para abastecimento o óleo diesel com 15 ppm, denominado de diesel com baixíssimo teor de enxofre (uLSd - Ultra Low Sulfur Diesel), em substituição ao diesel com baixo teor de enxofre (LSd - Low Sulfur Diesel). na Europa, onde combustíveis com baixíssimo teor de enxofre são considerados aqueles com até 50 ppm de enxofre, discute-se a implementação de combustíveis livres de enxofre, com até 10 ppm de enxofre.

### 2.3.1. A influência do enxofre no óleo diesel

Indiscutivelmente, a diminuição da concentração de enxofre no óleo diesel reduz bastante os níveis de emissão de material particulado (fumaça preta) e de outros gases poluentes, a lubrificidade do combustível, além de elevar a sua condutividade elétrica. Este estudo apresentará, no próximo capítulo, a introdução do diesel S50, em substituição ao diesel S500, mesmo sem a adoção do motor adequado.

Em função de alterações feitas na produção do óleo diesel S50, que tende a ser mais leve e hidrogenado, este novo combustível pode apresentar maior tendência de acúmulo de carga eletrostática. de forma a reduzir os riscos de descargas elétricas, alguns aditivos dissipadores de cargas eletrostáticas foram acrescentados ao diesel S50 para aumentar sua condutividade elétrica. Entretanto, esta solução não deve se limitar apenas ao emprego destes aditivos nas unidades de produção, mas também pelo atendimento às orientações das normas e práticas de segurança em vigor.

A presença de enxofre nas moléculas do óleo diesel sinaliza melhores condições físico-químicas de lubrificidade do combustível. Quanto menor o índice de enxofre no combustível, menor será a lubrificidade do mesmo, a qual está relacionada a algumas moléculas estruturais de hidrocarbonetos com átomos de enxofre associados. durante o processo de refino, quando se promove a retirada destes átomos de enxofre, quebram-se estas moléculas, gerando novas e mais leves moléculas de hidrocarbonetos com outras características (não as de lubrificação das moléculas anteriores), reduzindo-se assim a qualidade de lubrificidade do combustível final<sup>16</sup>.

### 2.3.2. O biodiesel no óleo diesel brasileiro

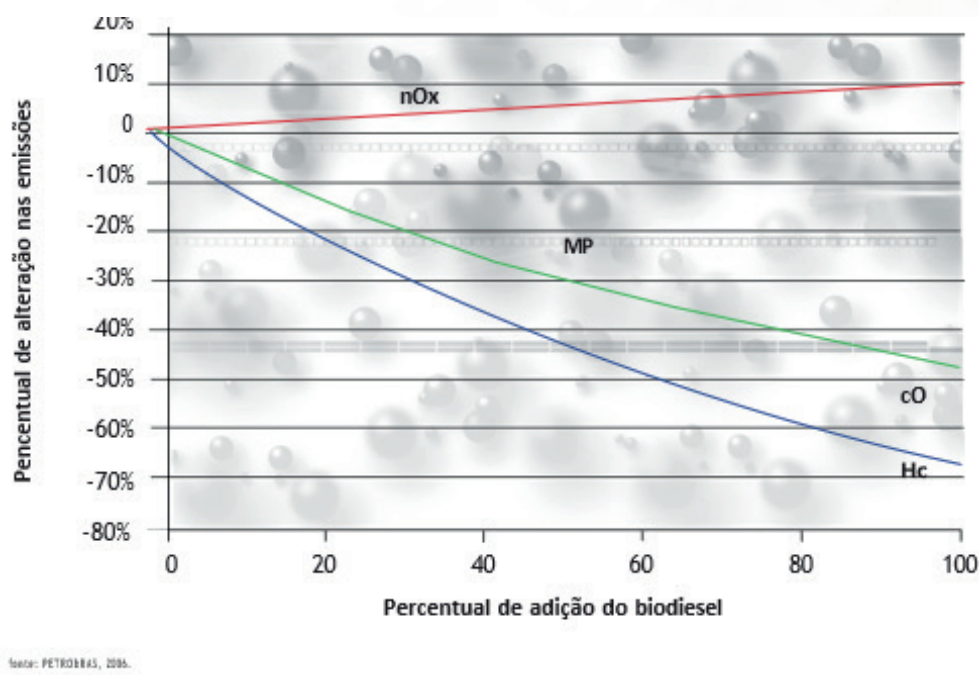
usualmente, para manter o equilíbrio desta condição de boa lubrificidade do óleo diesel com teores mais elevados de enxofre, são inseridos aditivos ao combustível. no brasil, no entanto, esta correção é feita pelo uso do biodiesel que, mesmo em pequenas adições, eleva a lubrificidade intrínseca ao combustível mineral, dando aos sistemas de injeção a diesel melhores condições de operação e vida útil. Pode-se considerar que o óleo diesel S50, que atualmente abastece a frota de ônibus da cidade do Rio de Janeiro, dentre outras, não apresentará diferenças significativas quanto à sua característica de lubrificidade em relação ao óleo diesel S500, anteriormente fornecido.

A inserção do biodiesel na matriz energética brasileira foi regulamentada pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que definiu o percentual mínimo obrigatório, de 5%, para adição de biodiesel ao óleo diesel convencional, até 2013, e um percentual intermediário, de 2%, em 2008. desde janeiro de 2010, alcançou-se a mistura de 5% de biodiesel para 95% de óleo diesel (a chamada mistura b5), em caráter obrigatório. Além de corrigir a lubrificidade do óleo diesel, o biodiesel reduz os níveis de emissão dos veículos, conforme mostra a figura 36.

---

<sup>16</sup> Por este motivo é que se associa o conteúdo de enxofre de um combustível ao seu potencial de lubrificidade. de fato, são as novas moléculas, isentas de enxofre, que possuem menores características de lubrificidade e não a presença do enxofre em si.

Figura 36: Diagrama do nível de redução de poluentes com o uso do biodiesel em veículos pesados



Em estudo realizado e publicado pela Semove, em parceria com o governo do Estado do Rio de Janeiro, as montadoras Mercedes-benz e Volkswagen e as distribuidoras Shell, Ipiranga e BR Distribuidora, no ano de 2007, com a mistura de 5% de biodiesel, verificou-se a redução média de 9% dos níveis de emissão de fumaça preta e a respectiva diminuição de material particulado. Este fato foi comprovado também pelas montadoras de motores, em estudos próprios, que encontraram redução média da ordem de 10% para a mesma mistura de biodiesel.

## 2.4. Perspectivas futuras

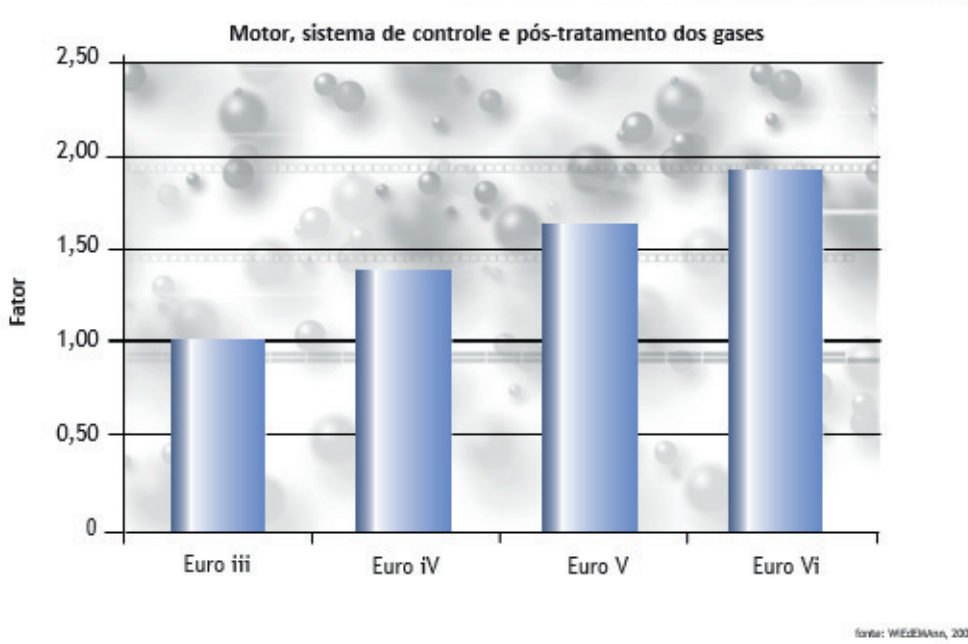
Os ganhos ambientais relacionados aos novos motores diesel, voltados para o atendimento aos novos padrões de emissão da fase Proconve P7 – Euro V, no Brasil, são evidentes e foram devidamente apresentados nos primeiros itens deste capítulo. Entretanto, não foram abordados aspectos de eficiência energética e custos de aquisição da tecnologia.

De fato, estes são temas importantes e que precisam de atenção desde já. A elevação dos custos totais relacionados à inovação tecnológica dos novos motores a diesel é inevitável, sendo estimado um sobrecusto médio de cerca de 7 mil euros<sup>17</sup> por motor (iRu, 2009).

Em termos relativos, a figura 37 mostra o sobrecusto correspondente às inovações tecnológicas de motores diesel, tendo como referência o Proconve P5 – Euro III, atualmente utilizado no Brasil. Observa-se que o sobrecusto para aquisição de um motor Proconve P7 – Euro V poderá chegar a aproximadamente 50%, comparado com a tecnologia atualmente utilizada no país.

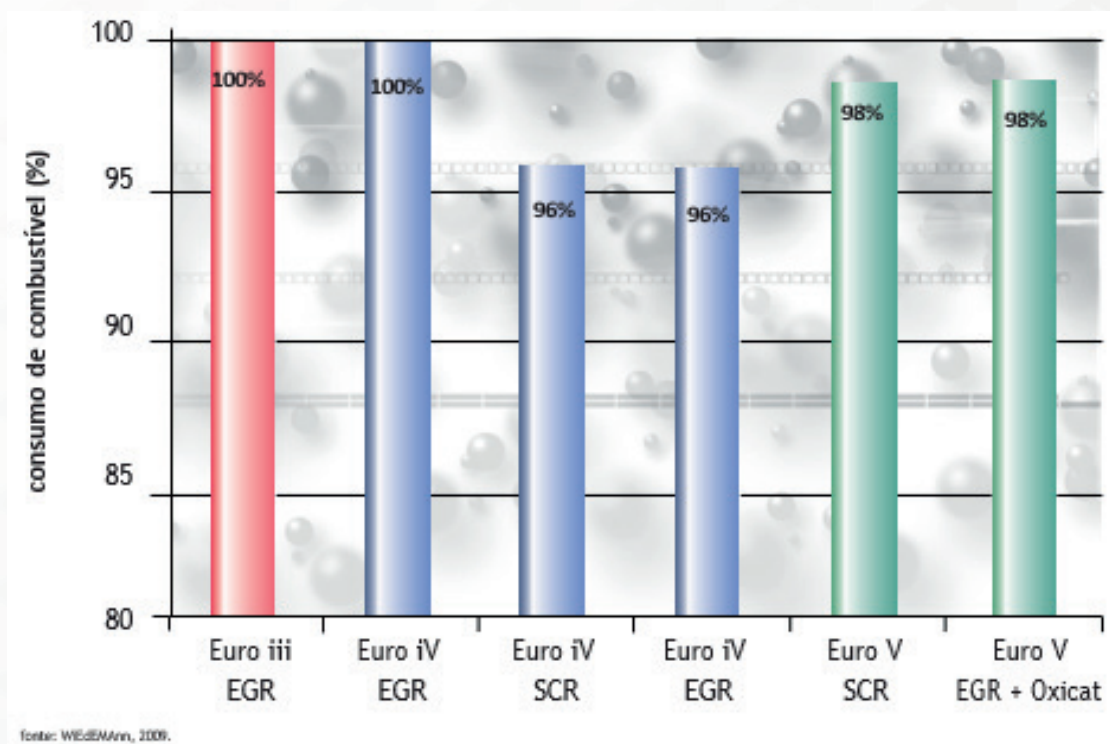
<sup>17</sup> Este sobre custo refere-se ao preço adicional de um motor Proconve P7 – Euro V comparado a um motor Proconve P5 – Euro III.

Figura 37: Elevação dos custos associados à evolução de motores diesel



Acredita-se que a indústria automobilística esteja inovando para permitir que os novos motores sejam mais eficientes energeticamente. A figura 38 mostra que a eficiência energética dos motores a diesel modernos deverá ser ligeiramente aprimorada, segundo dados fornecidos pelas próprias montadoras. A estimativa é que o consumo dos motores atuais possa se manter idêntico, com possibilidade de ser até 2% melhor, no ano de 2012, comparado com o dos veículos a diesel fabricados no Brasil em 2010.

Figura 38: Indicadores de eficiência energética relacionados à evolução dos novos motores a diesel



Capítulo 03

# Estudo com o diesel S50 na cidade do Rio de Janeiro

semove

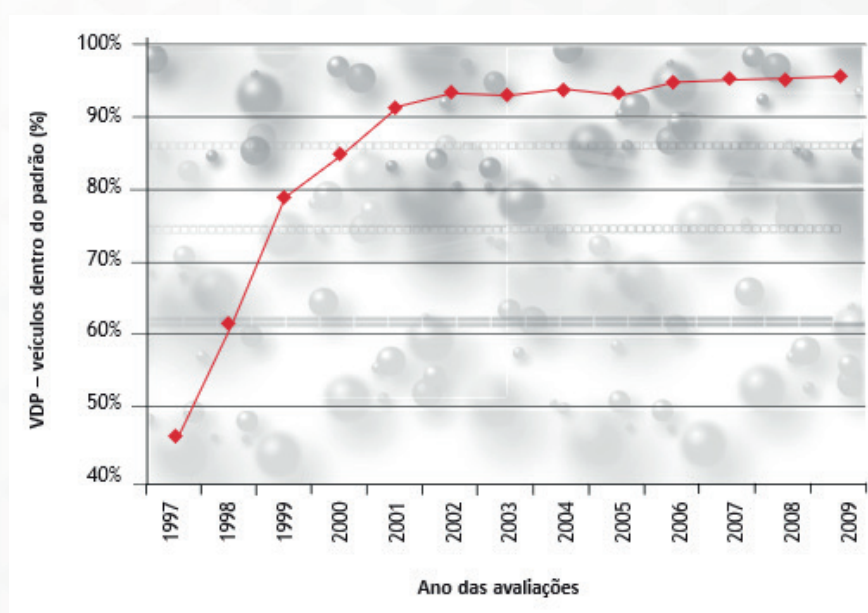
**E**m outubro de 2008, com a assinatura do acordo judicial que determinou o início do abastecimento do diesel S50 na frota cativa de ônibus do município do Rio de Janeiro, a Semove (Federação das Empresas de Mobilidade do Estado do Rio de Janeiro), coordenadora do programa estadual de monitoramento da emissão de fumaça preta de sua frota filiada, em parceria com o Rio Ônibus (Sindicato das Empresas de Ônibus da Cidade do Rio de Janeiro), responsável pelas medições de fumaça preta da capital, iniciou um estudo para verificar o ganho ambiental com a introdução do diesel mais limpo (S50).

O município do Rio de Janeiro conta, atualmente, com uma frota de 8.500 ônibus, nova (com idade média de, aproximadamente, 3,5 anos) e participante de programa de medição de fumaça preta há doze anos, cujos resultados demonstram o comprometimento energético e ambiental das empresas. A avaliação da emissão de fumaça preta é um indicador do estado de conservação dos veículos a diesel e um meio para identificação do desempenho ambiental de um determinado combustível.

Este programa de medição de fumaça preta teve início em 1997 com avaliações periódicas por amostragem da frota. Em 17 de abril de 2007, a diretriz dz- 572.R-4 foi aprovada pelo órgão ambiental estadual, à época feema (fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente) e atualmente inea (Instituto Estadual do Ambiente). Esta norma estabeleceu as diretrizes do Programa de Autocontrole de Emissão de fumaça Preta por Veículos Automotores do Ciclo diesel - Procon fumaça Preta, determinando a medição obrigatória e periódica de toda a frota de veículos a diesel no Estado do Rio de Janeiro.

Durante estes 12 anos de medição da emissão de fumaça preta, verifica-se a melhoria ambiental da frota de ônibus do município do Rio de Janeiro, ilustrada na figura 39. Em 1997, quando a medição do índice de opacidade<sup>18</sup> foi iniciada, menos de 50% da frota estava dentro dos padrões ambientais. Em 2001, este percentual já tinha ultrapassado 90% e, no ano de 2009, 95,5% da frota estava em conformidade com os parâmetros ambientais.

**Figura 39: Evolução do desempenho ambiental da frota de ônibus da cidade do Rio de Janeiro**



<sup>18</sup> Opacidade é um indicador de emissão de fumaça amplamente utilizado para avaliar o desempenho ambiental das emissões de um veículo diesel.

O programa de monitoramento dos níveis de emissão de opacidade se apoia em resoluções Conama para aprovação ou reprovação dos veículos em uso, através de testes de medição de gases. Segundo a Resolução Conama 16, de 13 de dezembro de 1995, a medição de opacidade deve ser realizada com um equipamento chamado opacímetro, homologado pelo Inmetro, e cujo uso deve seguir a norma brasileira NBR 13.037 – Gás de Escapamento Emitido por Motor a diesel em Aceleração Livre – determinação da Opacidade – Método de Ensaio.

Em nosso programa, todos os opacímetros utilizados são homologados pelo Inmetro. A figura 40 mostra estes equipamentos e a figura 41 ilustra o procedimento de avaliação do nível de emissão de opacidade através da fumaça preta emitida pelo escapamento.

Figura 40: Opacímetro nAPRO nA-9020 utilizado para a avaliação dos níveis de opacidade da frota analisada



Figura 41: Ilustração do procedimento de avaliação dos níveis de emissão de fumaça pelo opacímetro





## 3.1. Metodologia

O presente estudo consistiu na medição do índice de opacidade de toda a frota de ônibus da cidade do Rio de Janeiro abastecida com o diesel S500 e, posteriormente, com o diesel S50, a fim de verificar o desempenho ambiental deste combustível mais limpo. O acompanhamento dos níveis de emissão de opacidade objetivou identificar as suas variações, com o início do fornecimento do diesel mais limpo.

Este estudo teve início no segundo semestre de 2008, quando a frota de ônibus municipal ainda era abastecida com o diesel S500, e foi finalizado no primeiro semestre de 2009, com a utilização do diesel S50. Os dois índices de opacidade medidos (com o diesel S500 e com o diesel S50) foram comparados por marca, tipo de chassi e ano de fabricação do motor.

Não foi possível acompanhar os múltiplos efeitos e as variáveis independentes correlacionadas à emissão de fumaça preta, como linha operada, condições climáticas e de tráfego, manutenção dos veículos, efetivação operacional dos motoristas nos veículos e qualidade do combustível. Embora extremamente significativas, tornou-se extremamente complexo o monitoramento de um estudo com uma frota de 8.500 ônibus.

Por este motivo, nossa metodologia desprezou variações muito grandes (para mais ou para menos), supondo que as mesmas sejam motivadas por outros fatores não relacionados ao uso do novo óleo diesel (S50).

A variação do índice de opacidade foi calculada através da seguinte fórmula:

$$Vio = 100 - \frac{Of_i \times 100}{Oi_i} [\%]$$

Onde:

- $i$  é o identificador do veículo;
- $Oi_i$  é a medição de opacidade inicial, com a utilização do diesel S500, antes do abastecimento com o diesel S50;
- $Of_i$  é a medição de opacidade final, após o abastecimento com o diesel S50;
- $Vio$  é a variação do índice de opacidade.

Portanto, para a fórmula utilizada, pode-se afirmar que:

- Valores de  $Vio < zero$  indicam que o veículo aumentou a emissão de particulados;
- Valores de  $Vio > zero$  indicam que o veículo diminuiu a emissão de particulados.

O objetivo da nossa abordagem metodológica foi excluir, do resultado final, aqueles veículos que possam ter passado por algum evento não controlado de regulagem e/ou desregulagem, resultando em uma variação dos níveis de opacidade, inferior ou superior ao esperado, pela substituição energética do diesel S500 pelo S50. desta forma, os resultados serão apresentados através de três filtros distintos: variação de  $\pm 50\%$ ,  $\pm 100\%$  e  $\pm 200\%$ <sup>19</sup>.

---

<sup>19</sup> Tendo como base o índice de opacidade medido com o diesel S500, somente serão considerados os dados associados à medição de opacidade dos respectivos veículos que, abastecidos com o diesel S50, não apresentaram variação superior ou inferior ao filtro estabelecido (50%, 100% ou 200%).

O filtro de variação de  $\pm 50\%$  será aquele utilizado para a apresentação das conclusões, por corresponder à abordagem metodológica que mais garante consistência científica aos resultados finais. notemos que a utilização de filtros distintos não tem impacto muito significativo.

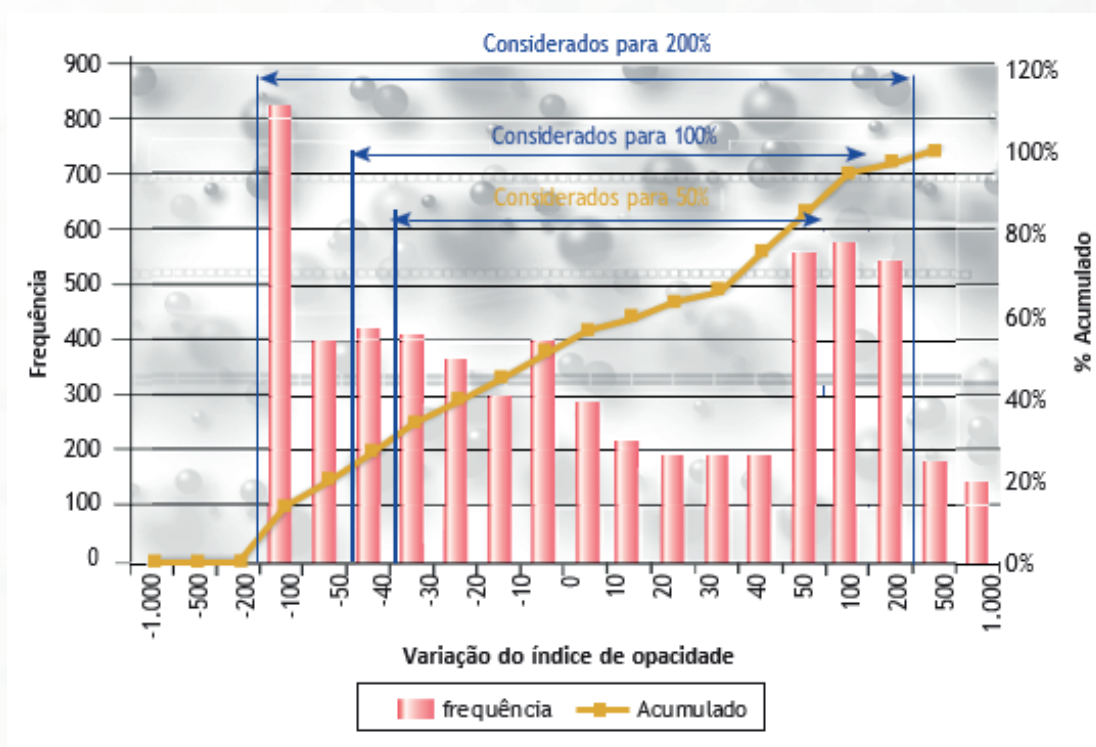
## 3.2. Primeira análise

Nesta primeira análise, foram considerados valores de Vio correspondentes aos três filtros citados:

- Valores de Vio  $< -50\%$ ,  $-100\%$  ou  $-200\%$  indicam presença de falha ou desregulagem aguda do motor;
- Valores de Vio  $> +50\%$ ,  $+100\%$  ou  $+200\%$  não são plausíveis, não sendo, portanto, justificáveis apenas pela substituição energética, e/ou o veículo pode ter passado por reparo ou por algum outro evento não controlado, que reduziu tão significativamente os níveis de emissão.

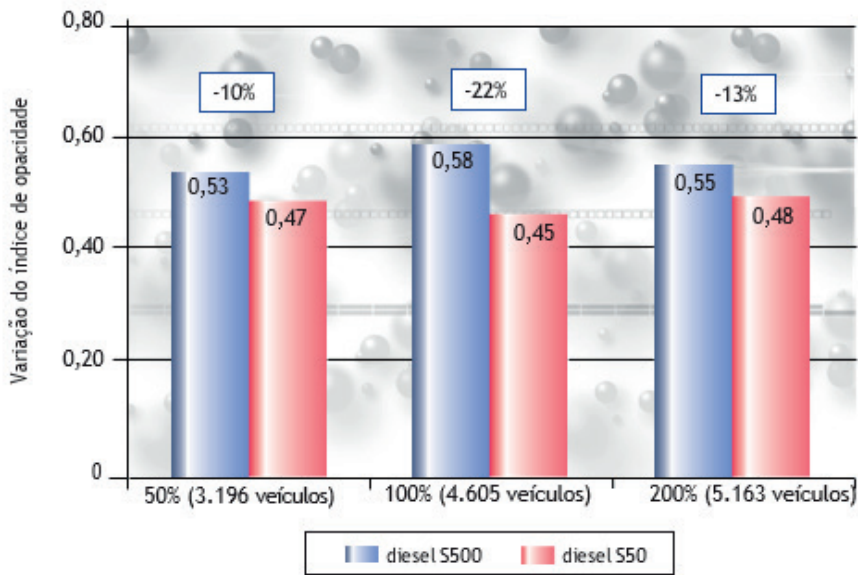
Inicialmente, foram considerados 6.032 veículos, nos quais foram realizadas as medições do índice de opacidade com o S500 e o S50. Através da adoção dos diferentes filtros para análise, esta amostra foi reduzida para 5.163 veículos ( $\pm 200\%$ ), para 4.605 veículos ( $\pm 100\%$ ) e para 3.196 veículos ( $\pm 50\%$ ). A figura 42 apresenta um histograma da variação do índice de opacidade para cada filtro considerado.

Figura 42: Histograma de variação do índice de opacidade para cada filtro analisado ( $\mu 50\%$ ,  $\mu 100\%$  e  $\mu 200\%$ )



Pode-se observar, na figura 43, a variação média do índice de opacidade para cada filtro considerado ( $\pm 50\%$ ,  $\pm 100\%$  e  $\pm 200\%$ ). Verifica-se que para os filtros de  $\pm 50\%$  e  $\pm 200\%$  esta variação foi bastante similar.

Figura 43: Variação do índice de opacidade total segundo o filtro analisado ( $\mu$ 50%,  $\mu$ 100% e  $\mu$ 200%)



A variação do índice de opacidade também foi analisada pelo ano de fabricação do veículo, conforme apresentado para os filtros de  $\pm$ 50% (figura 44),  $\pm$ 100% (figura 45) e  $\pm$ 200% (figura 46). Observa-se a linearidade entre o ano de fabricação dos veículos e a redução do índice de opacidade. Veículos mais recentes e mais velhos (exceto os anteriores a 1999) apresentaram resultados similares. Entretanto, aqueles que demonstraram maior redução não foram os mais recentes, mas sim os de 2003 (filtro de  $\pm$ 50%), 2002 (filtro de  $\pm$ 100%) e 2000 (filtro de  $\pm$ 200%). Para uma análise mais aprofundada, seria necessário verificar outras variáveis e dados sobre estes veículos.

Figura 44: Variação do índice de opacidade do filtro de  $\mu$ 50% segundo o ano de fabricação do veículo

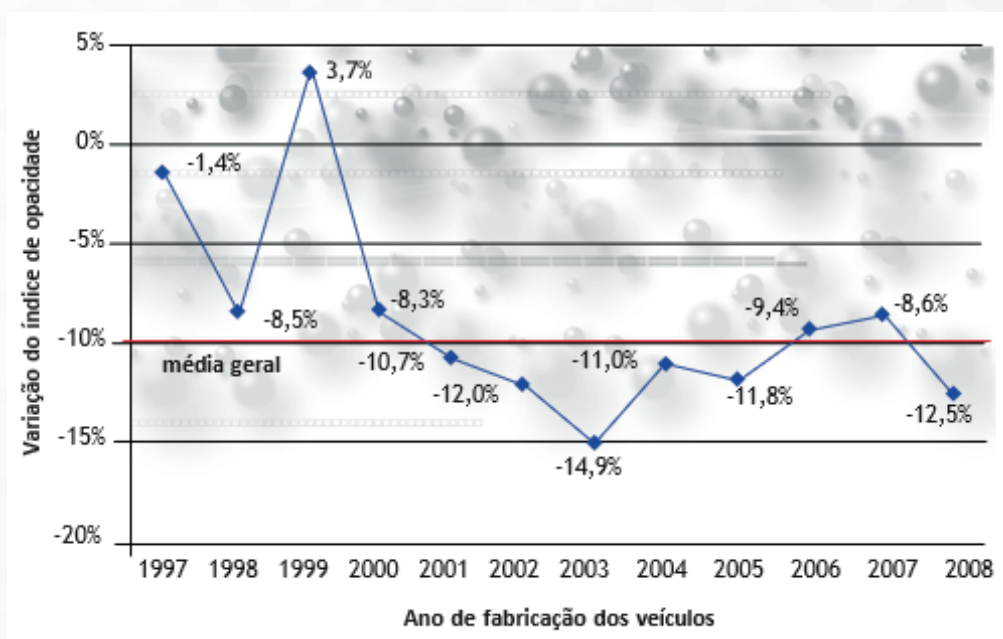


Figura 45: Variação do índice de opacidade do filtro de  $\mu 100\%$  segundo o ano de fabricação do veículo

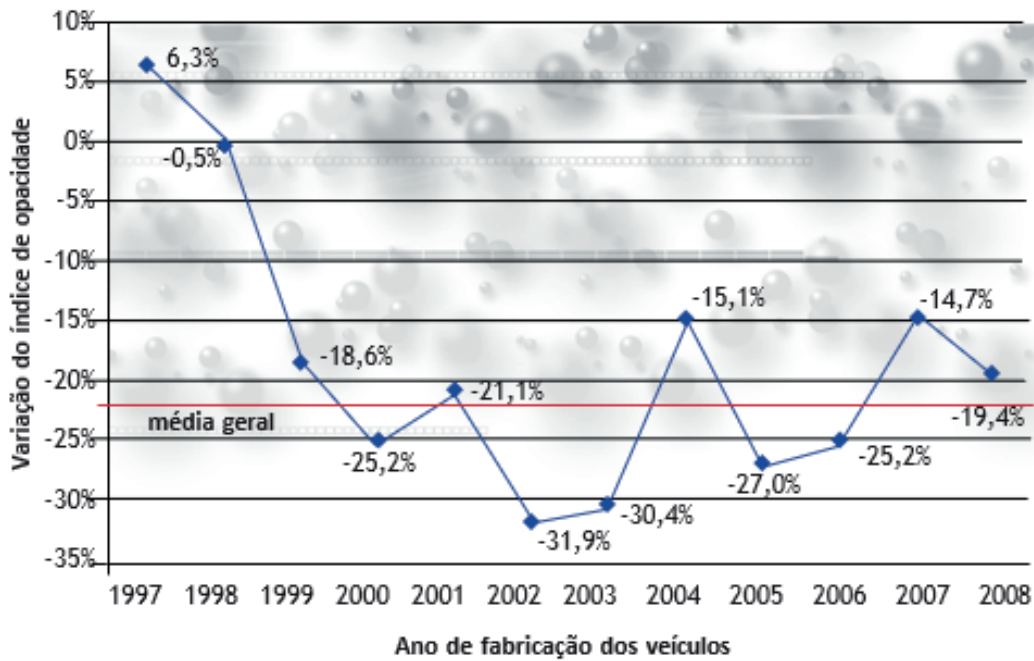
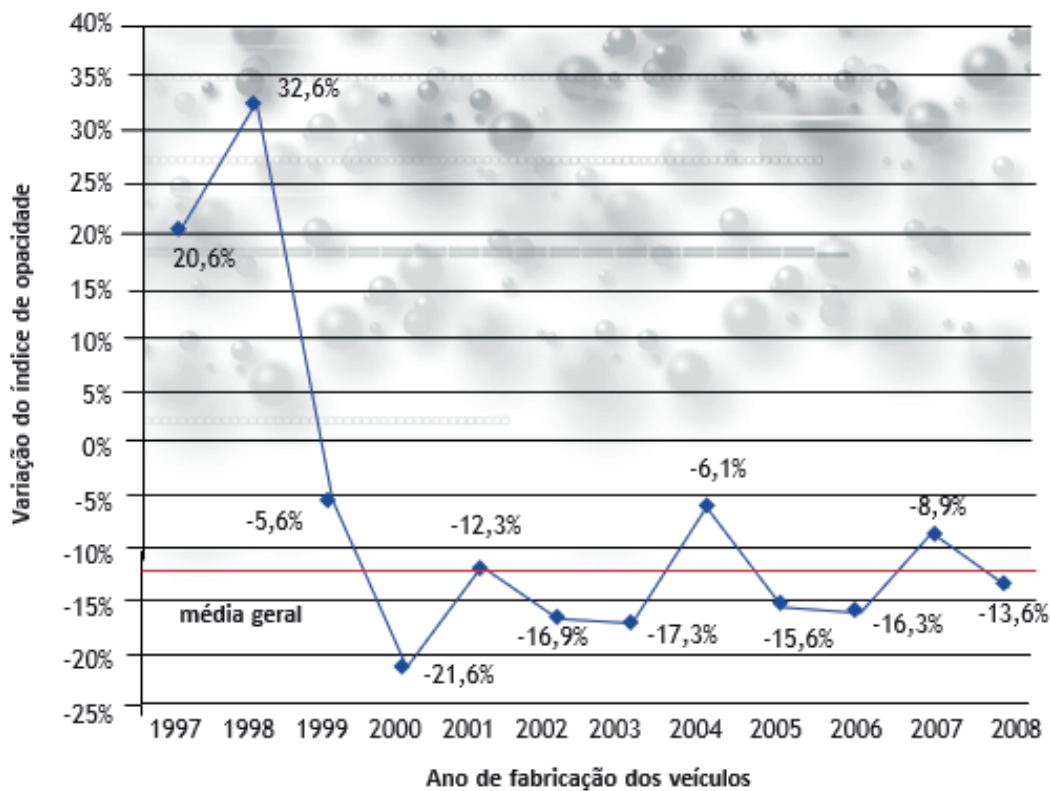


Figura 46: Variação do índice de opacidade do filtro de  $\mu 200\%$  segundo o ano de fabricação do veículo



### 3.3. Segunda análise

Após estudo da variação do índice de opacidade para os diversos filtros ( $\pm 50\%$ ,  $\pm 100\%$  e  $\pm 200\%$ ), adotaremos o filtro de  $\pm 50\%$  para uma análise mais aprofundada. Portanto, devido à renovação da frota, a variações inconsistentes (adoção do filtro de variações de até 50%, para mais ou para menos) e à ausência de medição, em 2008, de 5% da frota, o universo de análise do trabalho foi reduzido para 3.196 veículos.

Esta frota final analisada está caracterizada por marca de fabricante, na figura 47, e por ano de fabricação, na figura 48. Observa-se que 78% dos veículos foram fabricados pela Mercedes-benz e que 76% deles têm apenas 4 anos de uso, comprovando a baixa idade média da frota.

Figura 47: Divisão da frota analisada por marca do fabricante

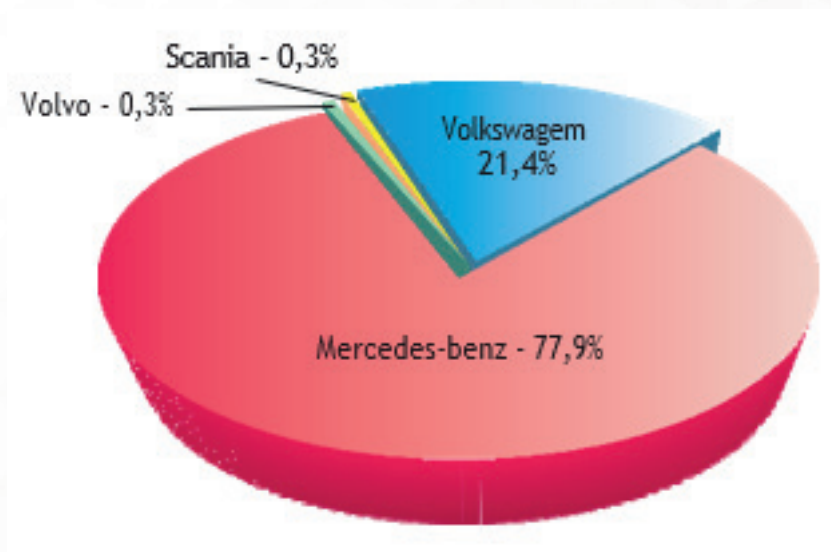
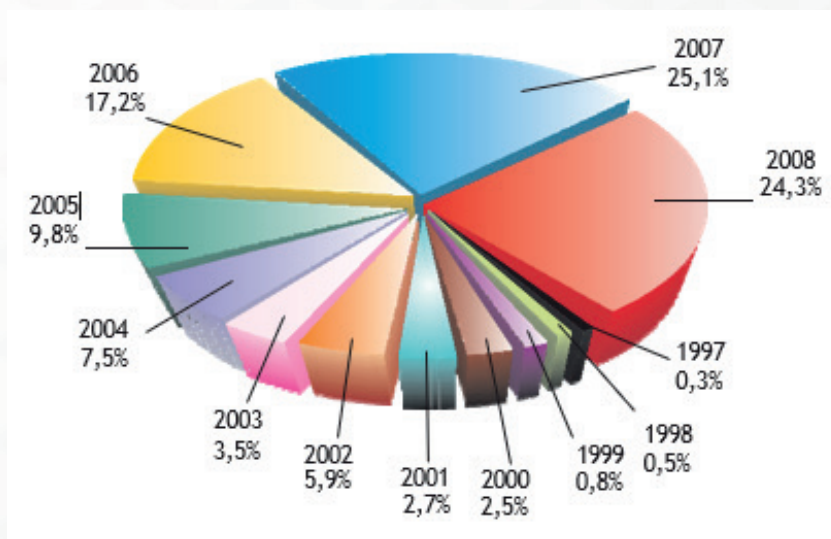


Figura 48: Divisão da frota analisada por ano de fabricação



As variações do índice de opacidade por marca e tipo de chassi das duas principais montadoras presentes no transporte coletivo por ônibus do município do Rio de Janeiro são apresentadas na figura 49 (Mercedes-Benz) e na figura 50 (Volkswagen). As frotas referentes às demais montadoras, Scania e Volvo, eram muito inferiores e foram suprimidas desta análise.

Figura 49: Variação do índice de opacidade segundo o tipo de chassi da Mercedes-Benz

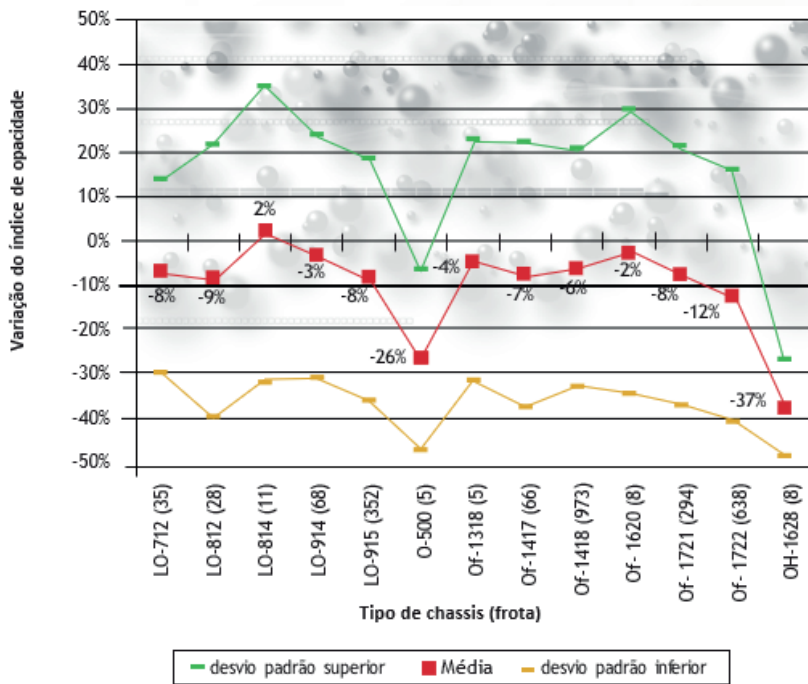
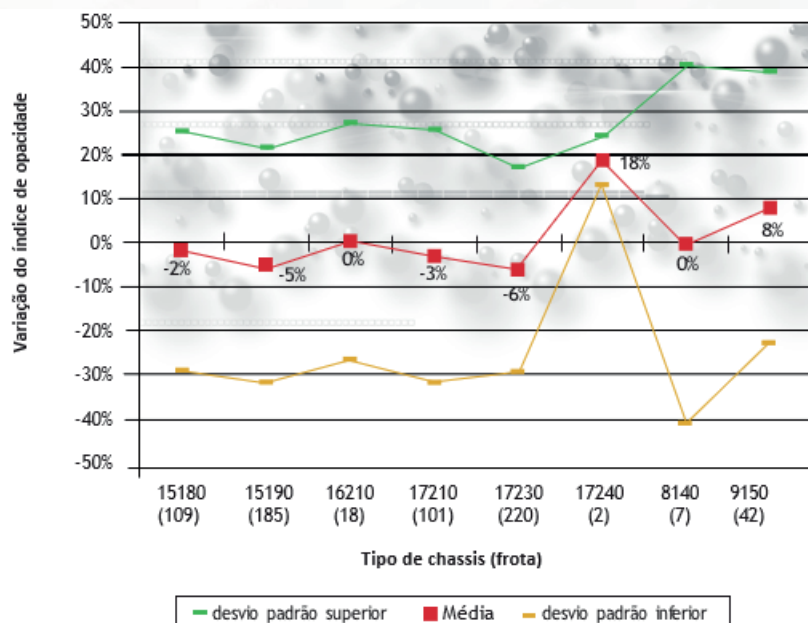


Figura 50: Variação do índice de opacidade segundo o tipo de chassi da Volkswagen



A variação do índice de opacidade também foi analisada segundo o ano de fabricação dos quatro tipos de chassis da Mercedes-Benz mais representativos da frota, a saber: LO-915 (figura 51), Of-1418 (figura 52), Of-1721 (figura 53) e Of-1722 (figura 52).

Figura 51: Variação do índice de opacidade segundo o ano de fabricação do chassis LO-915 da Mercedes-Benz

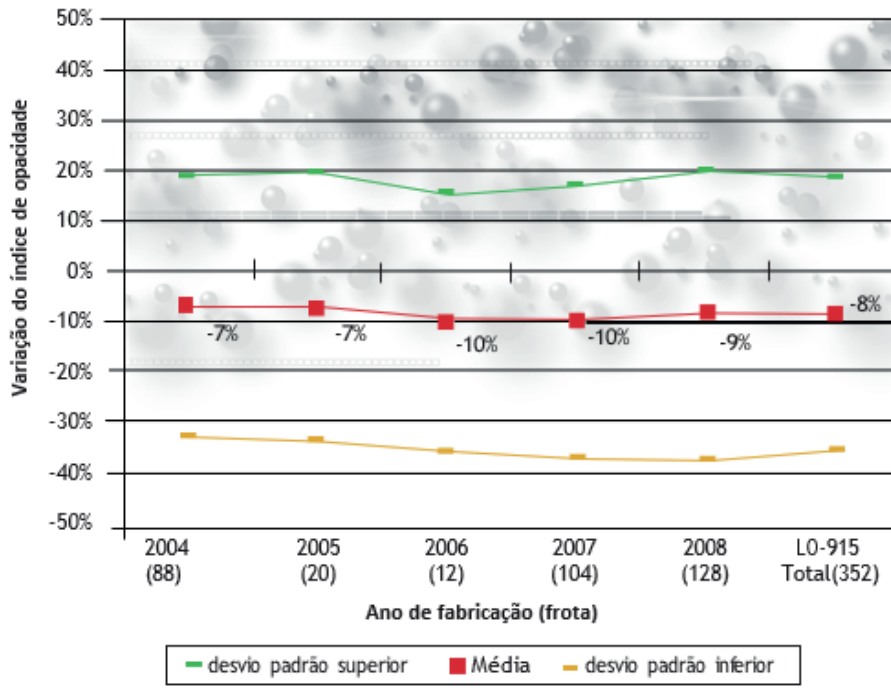


Figura 52: Variação do índice de opacidade segundo o ano de fabricação do chassis OF-1418 da Mercedes-Benz

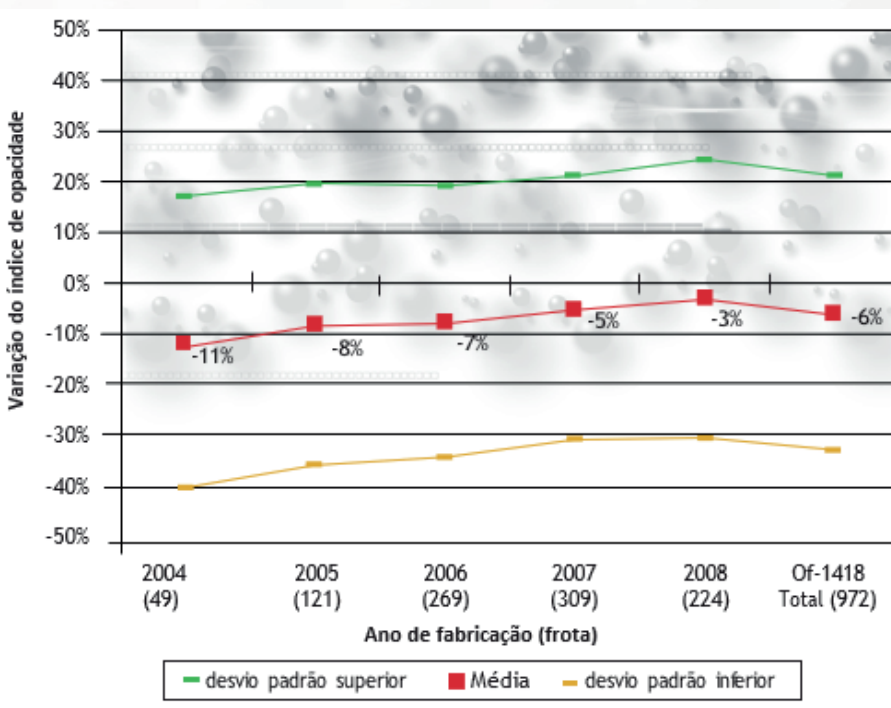


Figura 53: Variação do índice de opacidade segundo o ano de fabricação do chassi OF-1721 da Mercedes-Benz

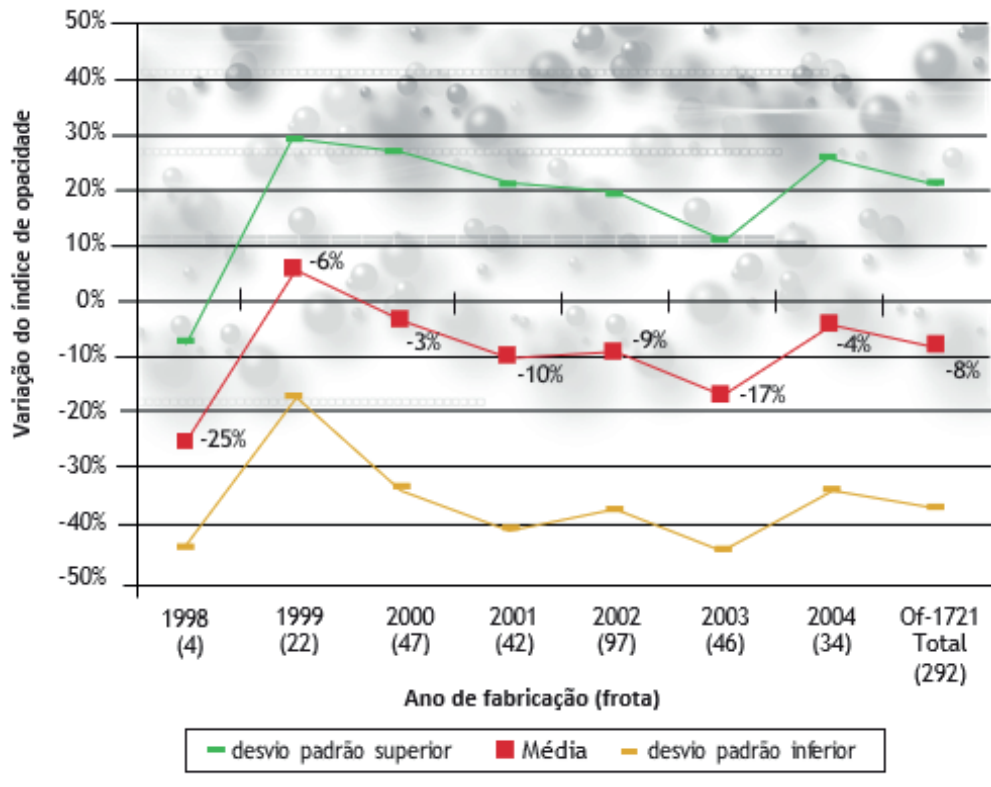
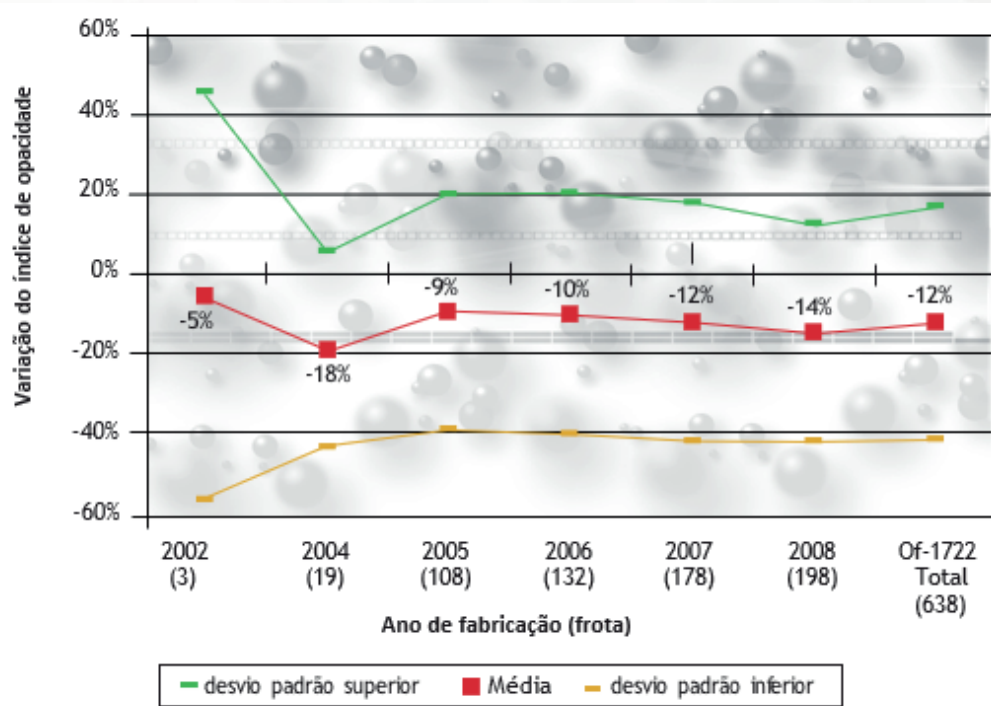


Figura 54: Variação do índice de opacidade segundo o ano de fabricação do chassi OF-1722 da Mercedes-Benz





Esta análise da variação do índice de opacidade também foi realizada, segundo o ano de fabricação, para os quatro tipos de chassis da Volkswagen mais representativos na frota municipal do Rio de Janeiro: 15.180 (figura 55), 15.190 (figura 56), 17.210 (figura 57) e 17.230 (figura 58).

Figura 55: Variação do índice de opacidade segundo o ano de fabricação do chassi 15.180 da Volkswagen

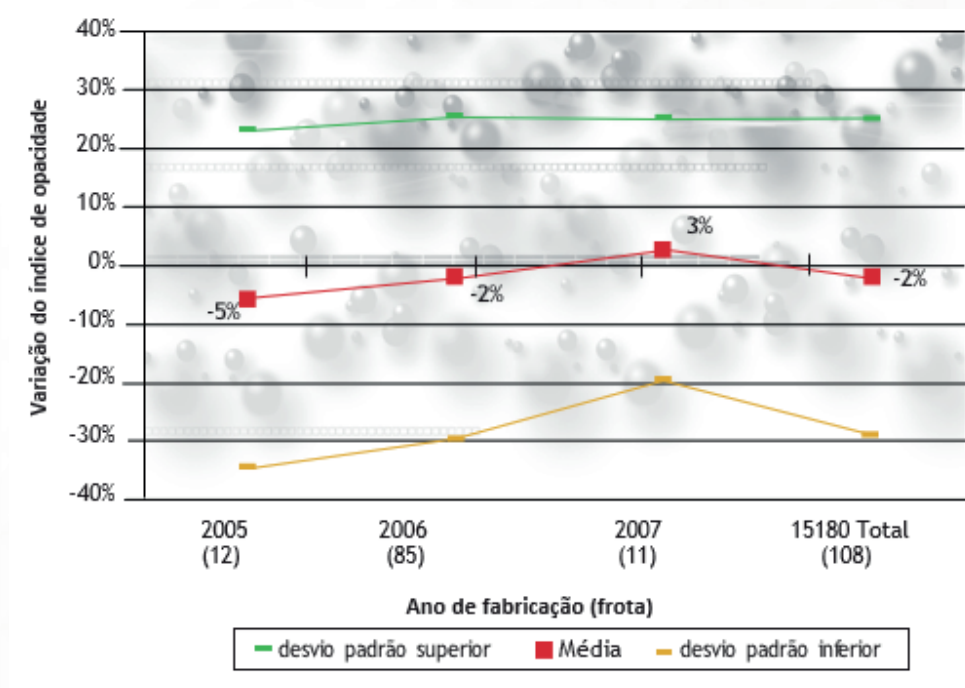


Figura 56: Variação do índice de opacidade segundo o ano de fabricação do chassi 15.190 da Volkswagen

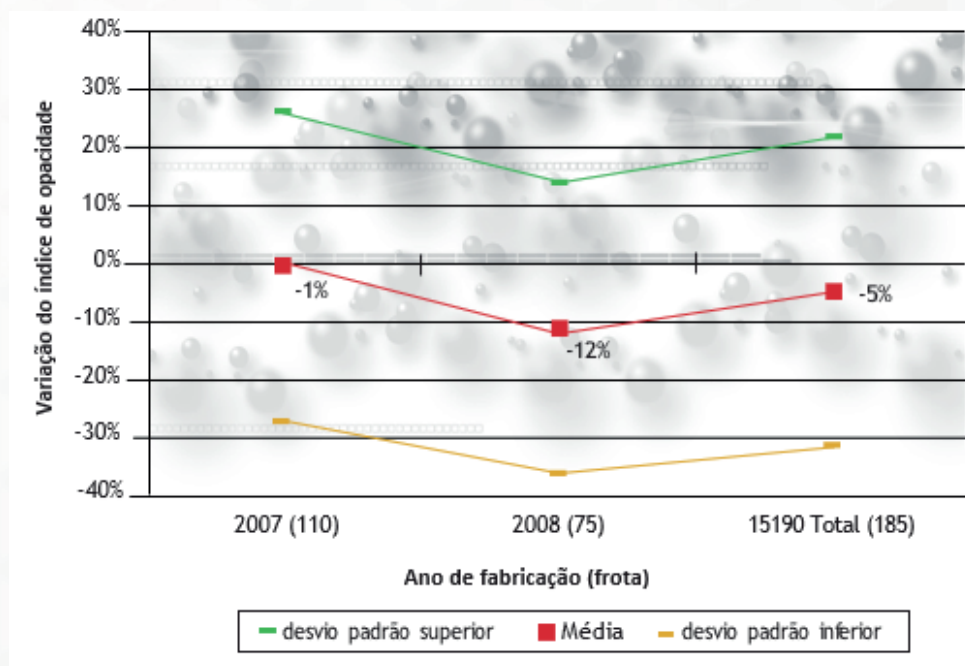


Figura 57: Variação do índice de opacidade segundo o ano de fabricação do chassi 17.210 da Volkswagen

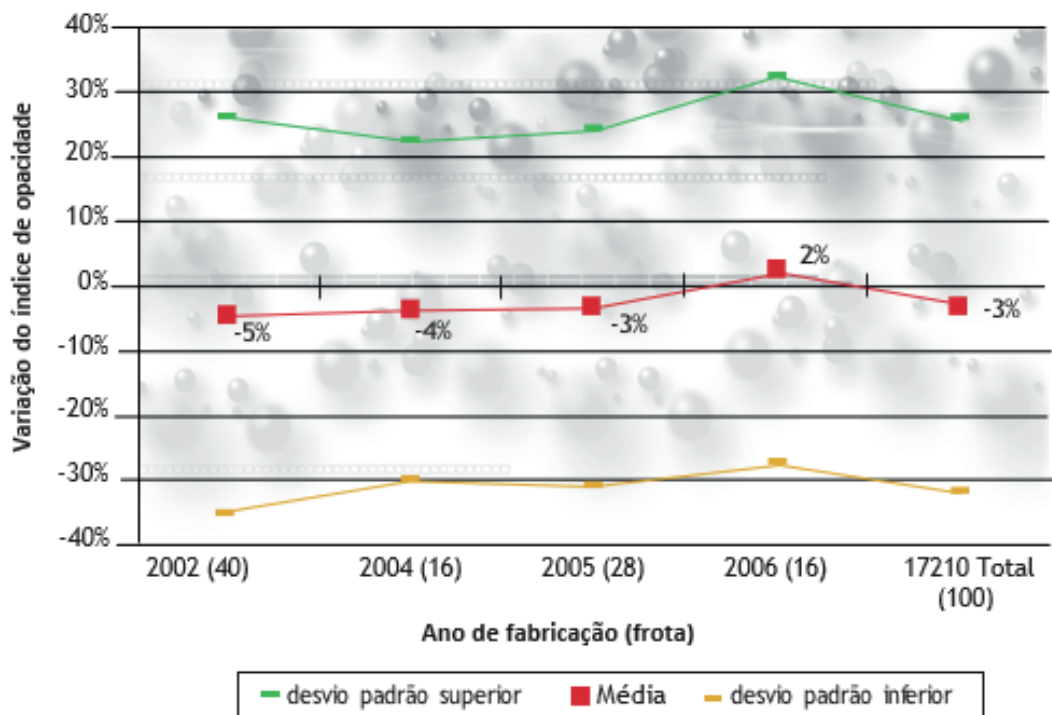
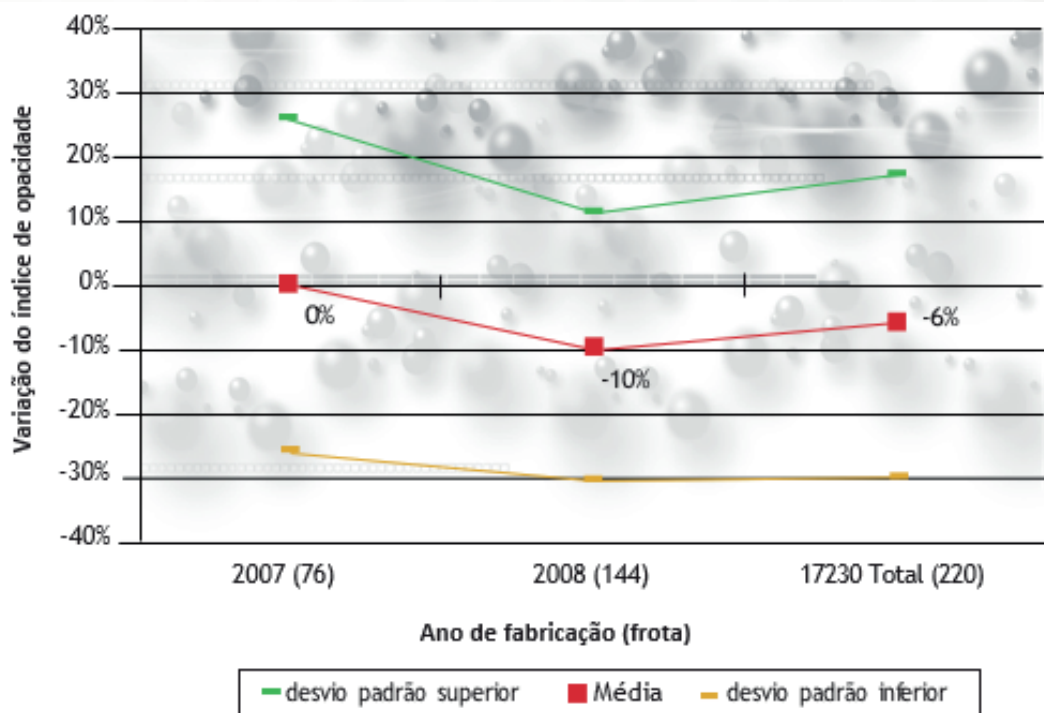


Figura 58: Variação do índice de opacidade segundo o ano de fabricação do chassi 17.230 da Volkswagen



# Conclusões

semove

Este estudo apresentou resultados que apenas confirmam a enorme expectativa hoje depositada na adoção de combustíveis mais limpos, os quais auxiliam as modernas tecnologias de motores do ciclo diesel, na redução da emissão de poluentes por ônibus urbanos. A ampliação do fornecimento do diesel S50, para outras regiões metropolitanas do Brasil, contribuirá efetivamente para a melhoria da qualidade do ar e para a amenização da intensificação do efeito estufa.

A performance e o desempenho dos motores foram identificados como aceitáveis e a redução dos índices de opacidade, em 10%, estava dentro dos padrões esperados. De fato, esta diminuição deve ser analisada com precaução, uma vez que não puderam ser monitoradas todas as variáveis associadas às emissões dos veículos em operação (condições de operação, fatores climáticos, motoristas fixos por carro, carros fixos por linha, estado de manutenção dos veículos, condições de tráfego, etc.).

Foi possível verificar tendências na variação do índice de opacidade em relação ao ano de fabricação dos veículos. Os mais novos apresentaram maior potencial de redução deste índice quando comparados aos mais velhos.

O ganho ambiental proveniente da utilização de diesel mais limpo nas frotas de ônibus urbano foi constatado, o que fortalece a indicação de expansão do seu fornecimento para as demais regiões metropolitanas brasileiras, inclusive a do Rio de Janeiro, que hoje adota este combustível apenas nas frotas cativas de coletivos urbanos da capital. Diferentemente de outras regiões metropolitanas do país, no Rio de Janeiro não há, ainda, previsão oficializada de adoção do diesel S50 para todos os serviços de transporte rodoviário a diesel, o que certamente beneficiaria uma parcela maior da população urbana, através da melhoria da qualidade do ar.

A entrada em vigor dos novos padrões de emissão de gases para a fase P7 do Proconve, em 2012, será um marco histórico no que se refere à redução da emissão de poluentes no Brasil. O nível tecnológico mudará significativamente, novos acessórios e equipamentos passarão a integrar as modernas máquinas a diesel nos serviços de transporte rodoviário no país, e o desempenho ambiental do setor aumentará de forma perceptível.

Além da inovação tecnológica já sinalizada, está previsto o início da comercialização de um óleo diesel ainda mais limpo, o S10, que abastecerá parte da frota de veículos a diesel do país, a partir de 2013. Conforme apresentado neste trabalho, os custos associados à mudança dos motores e à entrada de novos equipamentos de pós-tratamento dos gases serão elevados em até 50%. Além daqueles referentes à aquisição, somam-se os custos operacionais, em especial os relacionados ao início da utilização de ureia nos sistemas catalíticos de SCR. A eficiência energética dos novos motores não deverá sofrer alterações significativas.

# Referências bibliográficas

semove

- AFAEEVAS – Associação dos fabricantes de Equipamentos para Controle de Emissões Veiculares da América do Sul, 2005. Seminário de inspeção e manutenção veicular – Feema, Rio de Janeiro.
- AVELLA, F., 2005. Vantaggi Ambientali dei Combustibili Desolforati, decreti Attuativi della direttiva Europea 2003/17/CE, Roma, 2005.
- BERGMANN, H., 2009. Potencial para o atendimento de emissões EURO VI e US 10 com consumo e complexidade otimizado. Seminário sobre Emissões de Veículos a diesel, São Paulo.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2009. Proconve. in: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/emissoes/proconve.asp>. São Paulo.
- CONCEIÇÃO, G. W., 2006. A viabilidade técnica, econômica e ambiental da inserção do gás natural veicular em frotas do transporte coletivo urbano de passageiros. M.Sc., PPE/COPPE/ufRJ, Rio de Janeiro.
- CONPET – Programa nacional de Racionalização do uso dos derivados do Petróleo e do Gás natural, 2006. A Saúde da População e a Poluição Atmosférica, São Paulo.
- CUMMINS, 2005. Every Alternative. Gas Plus: Natural Gas Engines for Truck and Bus, in: <http://www.cumminswestport.com>.
- EPA, 2002. A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions. draft Technical Report.
- EuROPA, 2010. Air Quality Standards. in: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>. European Commission.
- FEEMA – fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 2007. Relatório de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- iRu - international Road Transport union, 2009.
- JOSEPH JR, H., 2009. Proconve - As Fases Passadas e Futuras. Seminário sobre Emissões de Veículos a diesel, São Paulo.
- KREMER, f., 2009. O diesel: especificações e suprimento. Seminário sobre Emissões de Veículos a diesel, São Paulo.
- KRzYzAnOWSKI, M. e COHEN, A., 2008. Update of WHO air quality guidelines. OMS – Organização Mundial de Saúde, Genebra.
- MATTHEY, J., 2006. Diesel Partice Filter Systems for Off-Road Applications, Itália.
- MME – Ministério de Minas e Energia, 2009. Balanço Energético Nacional – ano base 2008, Brasília.
- OMS – Organização Mundial de Saúde, 2005. Air quality guidelines – Global update 2005, Genebra.
- OMS – Organização Mundial de Saúde, 2005. Health effects of transport-related air pollution, Genebra.
- OMS – Organização Mundial de Saúde, 2005. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005, Genebra.

PETROBRAS, 2005. Seminário de inspeção e manutenção veicular – Feema, Rio de Janeiro.

SEMOVE– Federação das Empresas de Mobilidade do Estado do Rio de Janeiro, 2008. Relatório de resultados do Programa experimental de utilização de biodiesel B5 nas frotas de ônibus do Estado do Rio de Janeiro – 2007, Rio de Janeiro.

SEMOVE – Federação das Empresas de Mobilidade do Estado do Rio de Janeiro, 2010. Programa Ambiental Semove, Rio de Janeiro.

SMTR – Secretaria Municipal de Transportes, 2005. Plano Diretor de Transportes da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PROCONVE, 2004. Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores, Coleção Meio Ambiente, Série diretrizes – Gestão Ambiental, Vol. 2, nº 2, Brasília.

RENAULT, 2006. Frequently Asked Questions EURO 4 & EURO 5, França.

US.EPA – United States Environmental Protection Agency, 2010. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). in: <http://www.epa.gov/air/criteria.html>.

VERGANI, C., 2005. Il trattamento delle Emissioni Nei Piccoli Impianti di Cogenerazione. in: <http://www.ariacube.com>.

VENTURA, L.M. 2009. As Tecnologias Necessárias - Ações para Atendimento aos Novos Limites do Proconve–Fase 7. Seminário sobre Emissões de Veículos a diesel, São Paulo.

WIEDEMANN, B. 2009. International Experiences for the Urban Environment Improvement. Seminário sobre Emissões de Veículos a diesel, São Paulo.

**Anexo**

semove



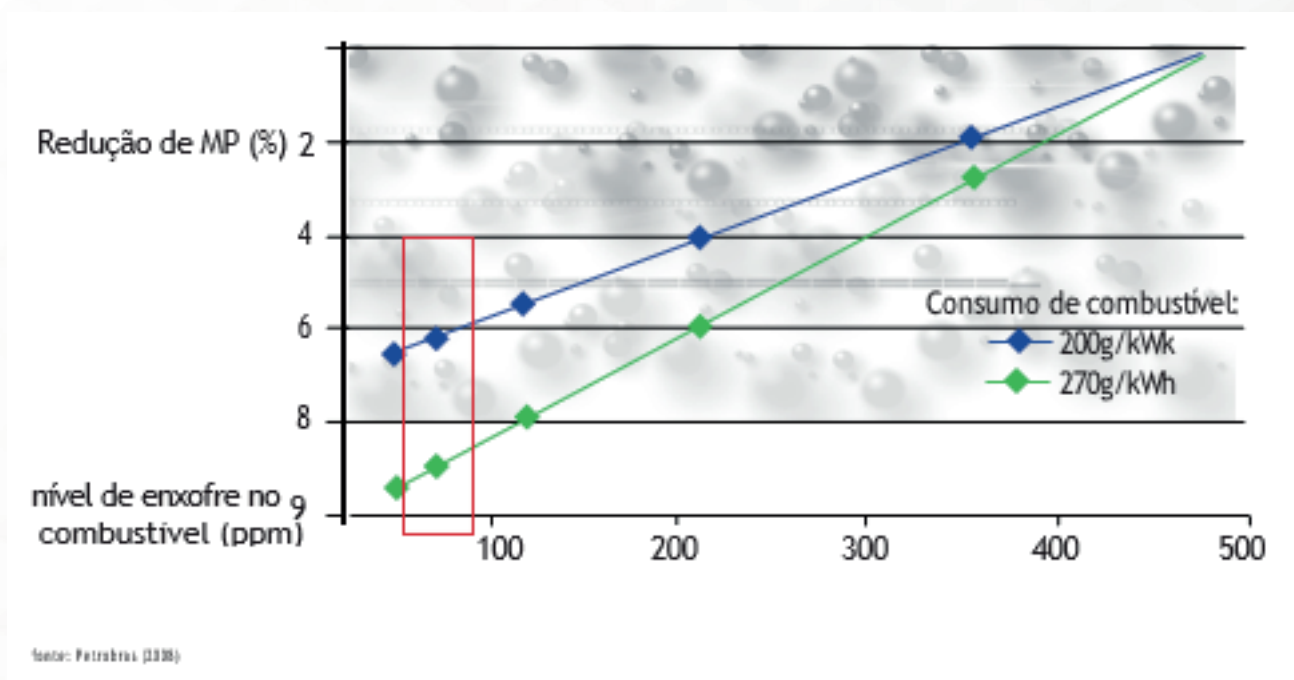
# Ensaio de emissões de motores em dinamômetro

Dois estudos distintos estimaram a redução do nível de material particulado, quando da utilização do óleo diesel S50 em substituição ao S500, em motores típicos da frota brasileira, testados em bancada (testes dinamométricos).

## Teste 1 | Teste realizado pelo World Wide Fuel charter (WWFc)

A redução do teor de enxofre de 500 para 50 ppm pode acarretar uma diminuição de material particulado aproximada entre 6 e 8,5%, em motores com tecnologia Euro iii, conforme apresentado na figura 59.

Figura 59: Efeito do nível de enxofre no óleo diesel nas emissões de material particulado de veículos pesados (MP = 0,10g/kWh)



## Teste 2 | Teste realizado pela Petrobras/cenpes

Estes ensaios foram realizados, em 2007, segundo o ciclo ESC (Ciclo Estacionário Europeu), em motores Euro ii e Euro iii. no âmbito do grupo de trabalho formado pelo MME, Anfavea e Petrobras, os motores apresentaram uma redução da ordem de 11,3% nas emissões de material particulado, com a troca do diesel S500 pelo S50.

Figura 60: Redução % de material particulado ao substituir o óleo diesel S500 pelo S50 em motores P4 e P5

