



EVOLUÇÃO E FUTURO DO PROCONVE

História e resultados dos 30 anos de política de controle das emissões dos veículos no Brasil



CETESB

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Sumário

introdução	4
Região Metropolitana de São Paulo	4
Política Pública de Controle da Emissão Veicular - Proconve	6
A Evolução dos Limites Máximos das Emissões	7
A Evolução da Tecnologia Veicular	9
Os Combustíveis Automotivos	9
A Redução da Emissão da Exaustão (ou Emissão do Escapamento).....	10
A Redução da Emissão Evaporativa.....	14
A Emissão de Abastecimento	14
Resultados Gerais do Proconve.....	15
O Futuro do Proconve.....	16
Leitura Complementar.....	17
Principais Contaminantes Da Qualidade Do Ar Nos Centros Urbanos.....	17
Poluição do Ar e Agravos À Saúde.....	18
O Ensaio de Emissão do Veículo Leve	20
O Catalisador.....	21
O Cânister	22

Introdução

A poluição do ar tem sido, desde a primeira metade do século XX, um grave problema nos centros urbanos industrializados, com a presença cada vez maior dos automóveis, que vieram a somar com as indústrias, como fontes poluidoras (BRAGA et al, 2001).

O impacto das fontes poluidoras em centros urbanos é frequentemente caracterizado por indicadores e índices de qualidade do ar obtidos a partir do monitoramento ambiental. A agência ambiental federal norte-americana - USEPA *United States Environmental Protection Agency* introduziu em 1976 os primeiros índices de qualidade do ar, denominados *Pollution Standards Index* (Ott & Hunt, 1976 apud HSU et al., 2013).

Estudo patrocinado pela WHO – *World Health Organization* e UNEP - *The United Nations Environment Programme* em 1992 demonstrou que em todas as vinte megacidades estudadas, situadas em diversos países desenvolvidos ou em desenvolvimento, havia ao menos uma ultrapassagem do valor-guia para qualidade do ar estabelecido pela WHO. Em quatorze das cidades, dois ou mais valores-guia foram ultrapassados (MAGE et al., 1996).

A relação entre a poluição gerada pelos veículos nas cidades e a saúde é fartamente registrada na literatura. Estudos indicam redução da função pulmonar (SCHULTZ et al., 2012), morte prematura (BRAGA et al., 2001), ocorrência de asma infantil (PEREZ et al., 2012), alteração na frequência cardíaca (SHIELDS et al., 2013), baixo peso ao nascer (LAURENT et al., 2013), diabetes (PARK e WANG, 2014) e câncer (HYSTAD et al., 2015).

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) tem comprometimento da qualidade do ar pelos poluentes ozônio e material particulado. (SILVA JUNIOR et al., 2009).

Região Metropolitana de São Paulo

A Região Metropolitana de São Paulo - RMSP é o maior centro urbano brasileiro em termos populacionais. De acordo com SEADE, sua população ultrapassa 20 milhões de habitantes, em um território de 8 mil metros quadrados e densidade demográfica de 2,5 mil habitantes por quilômetro quadrado. O mesmo estudo aponta que para o Estado de São Paulo a densidade é de apenas 172 habitantes por quilômetro quadrado. De acordo com CETESB (2015a), circulavam na RMSP em 2015 7,4 milhões de veículos.

Na Figura 1 é mostrada uma reprodução da capa da reportagem da revista Quatro Rodas sobre a poluição na cidade de São Paulo no ano de 1963. A foto mostra um ônibus emitindo fumaça em um volume que toma toda a paisagem da cidade.

Figura 1 - Capa da reportagem da revista Quatro Rodas sobre a poluição na cidade de São Paulo no ano de 1963



Fonte: Revista Quatro Rodas, edição de setembro de 1963.

Desde o início da década de 1970 a CETESB já monitorava a qualidade do ar da Região Metropolitana de São Paulo e constatava a crescente contaminação, então gerada pelo parque industrial e pela frota de veículos. Em 1977 inaugurou seu laboratório de emissão veicular, pioneiro na administração pública e um dos primeiros no Brasil. A partir dele elaborou estudos que diagnosticaram a contribuição dos veículos na poluição do ar.

Nesse período, a introdução do etanol como combustível e como aditivo da gasolina permitiu a redução nas emissões de monóxido de carbono e a redução do uso do chumbo na gasolina. Entretanto, esses ganhos não eram suficientes para garantir a qualidade do ar nas cidades.

Os trabalhos continuaram e em 1985 um grupo de técnicos da CETESB auxiliados por Michel Walsh, consultor da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OECD, preparou uma minuta do texto que propunha estabelecer uma série de exigências para o controle das emissões dos veículos comercializados no Brasil.

Foi essa minuta que o então Governador Franco Montoro e o Secretário Especial Paulo Nogueira Neto analisaram e encaminharam ao CONAMA. Em 06 de maio de 1986, há 30 anos, o Conselho aprovaria sua Resolução 18, estabelecendo uma política de controle de emissões de longo prazo, com uma lista de objetivos abrangentes e exigências por etapas, de forma que os diversos segmentos públicos e privados pudessem incorporar as ações e tecnologias necessárias para a redução das emissões. Estava criado o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE.

O PROCONVE objetivava não apenas reduzir a emissão de poluentes por veículos automotores, mas também promover o desenvolvimento tecnológico nacional e melhorar a qualidade dos combustíveis. Propunha ainda conscientizar a população quanto à questão da poluição do ar e criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso, o que só seria possível após o entendimento, pela sociedade, das consequências que a poluição trazia à saúde humana e ao meio ambiente. Por último, previa mecanismos de avaliação dos resultados alcançados.

Política pública de controle da emissão veicular - PROCONVE

Proposto na década de 80, quando os índices de qualidade do ar monitorados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB indicavam a deterioração da qualidade do ar nas regiões mais urbanizadas, em especial na Região Metropolitana de São Paulo, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores– PROCONVE foi estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA com a publicação da Resolução nº 18 em 1986.

O primeiro artigo do texto da Resolução prevê os objetivos gerais:

- Reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos;
- Promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes;
- Criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso;
- Promover a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores;
- Estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados;
- Promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando a redução de emissões poluidoras à atmosfera.

O primeiro dos objetivos listados, “reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos” antecipava em 1986 a necessidade do estabelecimento de padrões que foram normatizados somente com a publicação da Resolução CONAMA nº 3, em 1990.

Outro dos objetivos listados pela Resolução CONAMA nº 18/1986 que merece destaque é “estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados”. Tal diretriz é peça chave para subsidiar a formulação, o planejamento, ajustes, o direcionamento, a evolução e a expansão do conjunto normativo derivado.

A gestão do PROCONVE foi outorgada pelo CONAMA ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, órgão executivo federal à

época subordinado à SEMA - Secretaria Especial do Meio Ambiente, precursora do atual Ministério do Meio Ambiente.

Simultaneamente, o IBAMA credenciou a CETESB, agência ambiental do Estado de São Paulo, para atuar como agente técnico e executivo do PROCONVE. Na ocasião a CETESB já dispunha de laboratório de ensaios de veículos, equipe capacitada e grande experiência nas questões de qualidade do ar e emissão veicular.

A partir de então as primeiras ações foram desenvolvidas, em especial junto à indústria fabricante de veículos, que passaram a submeter seus modelos a ensaios de emissão de forma a comprovar o atendimento dos padrões, bem como fornecer informações quanto aos volumes de vendas, construir infraestrutura de laboratórios de desenvolvimento e de ensaios.

A evolução dos limites máximos das emissões

Para se atingir o objetivo de “reduzir os níveis de emissão de poluentes” foram estabelecidos padrões de emissão para os tipos diferentes de veículos comercializados no mercado brasileiro, basicamente veículos leves (L), que incluíam automóveis de passageiros e veículos leves comerciais, e veículos pesados (P), que incluíam caminhões e ônibus.

Tais padrões foram se tornando mais restritivos ao longo do tempo, agrupados nas denominadas “fases do PROCONVE”. As fases foram introduzidas em intervalos de tempo irregulares, tanto àquelas que estabeleciam as emissões dos veículos leves como àquelas dos veículos pesados.

Já na década de 2000 foi introduzido o PROMOT, programa de controle das emissões das motocicletas.

No Quadro 1 é apresentada a evolução dos limites de emissão dos principais poluentes nas diversas fases dos PROCONVE para os veículos leves, objeto deste estudo. A fase vigente é a L6. Destaca-se a evolução significativa na redução dos padrões de emissão de CO, de um limite de 24 gramas de poluente emitido a cada quilometro na fase L1 para apenas 1,3 gramas na fase L6, implantada a partir de 2013.

A redução de mais de 90% do limite implicou na redução significativa da concentração do poluente na qualidade do ar da RMSP. Conforme o RQA 2015, desde 2008, não ocorre ultrapassagem do padrão de qualidade do ar de 8 horas para o monóxido de carbono em nenhuma das estações de monitoramento automático da RMSP.

Quadro 1 - Evolução dos limites do PROCONVE para veículos leves

Fase PROCONVE / Resolução CONAMA	Período	CO (g/km)	HC (g/km)	NMHC (g/km)	NO _x (g/km)	RCHO (g/km) (1)	MP (g/km) (2)	Evap. (g/teste) (1)	CO-M.L. (%vol) (3)		
L1 / 18/86	1989-1991	24,0	2,10	n.a.	2,0	n.a.	n.a.	6,0	3,0		
L2 / 18/86	1992 - 1996	12,0	1,20	n.a.	1,4	0,15	n.a.	6,0	2,5		
L3 / 15/95	1997-2004	2,0	0,30	n.a.	0,6	0,03	0,05	6,0	0,5		
L3 / 315/02	mai/2003							2,0			
L4 / 315/02	2005 (40%)	2,0	0,30 (4)	0,16	0,25 (3) ou 0,60 (2)	0,03	0,05	2,0	0,5		
	2006 (70%)										
	2007(100%)										
L5 / 315/02	2009 - 2013	2,0	0,30 (4)	0,05	0,12 (3) ou 0,25 (2)	0,02	0,05	2,0	0,5		
L5 / 415/09	2012 (1)							1,5/2,0 (5)			
L6 / 415/09	2013 (2)	1,3	n.a.	0,05	0,08	n.a.	0,025	n.a.	n.a.		
	2014 (6)		0,30 (4)					0,02	n.a.	1,5/2,0 (5)	0,2
	2015										

Notas:

n.a. = não se aplica

(1) apenas para veículos do ciclo Otto, exceto a GNV.

(2) apenas para veículos do ciclo diesel.

(3) para veículos do ciclo Otto.

(4) apenas para veículos a GNV.

(5) limites de 2,0 caso procedimento câmara de volume variável.

(6) apenas para os novos lançamentos de veículos do ciclo Otto.

Fonte: CETESB (2015a), adaptado.

A evolução dos limites de emissões dos precursores de ozônio seguiu a mesma tendência. Os limites para NO_x evoluíram para uma redução de mais de 90%. Os limites de emissão dos poluentes classificados como COV também sofreram redução significativa, de aproximadamente 90%, conforme o composto. Nas primeiras fases do PROCONVE os padrões eram para hidrocarbonetos totais (THC) e aldeídos totais (RCHO). A emissão de THC compreende compostos de carbono originados da combustão incompleta de combustível no motor. A partir da fase L4 o padrão passou a ser hidrocarbonetos não metânicos (NMHC), ou seja, compostos de carbono exceto o metano. A emissão de RCHO compreende a emissão de acetaldeído (C₂H₄O) e formaldeído (H₂CO), também originados da combustão. Esse conjunto de compostos são definidos como COV. Outra fonte importante de COV nos veículos que sofreu processo de controle é a evaporação do combustível, identificada como EVAP no Quadro 1. A emissão de vapor de combustível foi reduzida em aproximadamente 75%.

Entretanto, a redução apurada nas concentrações de CO na atmosfera da RMSP não foi seguida da mesma tendência de redução no ozônio, já que o número de dias com ultrapassagem do padrão vem aumentando ao longo dos últimos anos.

A evolução da tecnologia veicular

Para atender os limites de emissão em consonância com a evolução das fases de controle estabelecidas pelo PROCONVE, os veículos incorporaram uma série de itens tecnológicos.

Podemos destacar a substituição do uso do carburador, dispositivo utilizado para a formação da mistura carburante (ar e combustível) nos veículos leves equipados com motores do ciclo Otto¹.

Em meados da década de 1990, para atender as fases L2 e L3 do PROCONVE, o carburador foi substituído pela injeção eletrônica, que proporciona uma dosagem mais precisa do volume de combustível disponibilizado na câmara de combustão do motor e em conjunto com a ignição eletrônica, um controle maior da queima da mistura e redução significativa das emissões. Esse controle permite o uso do catalisador, equipamento de tratamento dos gases da exaustão de alta eficiência e que reduziu de forma significativa a emissão dos veículos.

Tecnologia similar foi adotada nos veículos pesados somente em meados dos anos 2000 (injeção de diesel com controle eletrônico) e em 2012 adotou-se de forma generalizada o catalisador nessa categoria.

Os combustíveis automotivos

Os combustíveis de aplicação veicular no Brasil são a gasolina, o diesel, o etanol e o gás natural (GNV). Eles sofreram uma série de alterações nas especificações nos últimos 30 anos, em especial por suas implicações na emissão veicular ou na tecnologia de controle das emissões.

As alterações começaram com a incorporação do etanol anidro na gasolina, a partir dos anos 1970, motivada principalmente pela crise do petróleo, que elevou de forma significativa os preços dos derivados. Foi criado em 1975 o Proálcool, que visava inicialmente promover o desenvolvimento da tecnologia de produção do combustível. Nesse período surgiu a mistura de etanol anidro na gasolina, que variou desde 5% até a taxa atualmente em vigor, de 27%, passando por períodos de menor percentual. Em 1978 os primeiros veículos a etanol hidratado. Atualmente não são fabricados veículos a etanol, mas os chamados *flex-fuel*², que podem utilizar gasolina, etanol ou qualquer mistura dos combustíveis.

No início da década de 1990 o Brasil eliminou o composto chumbo tetraetila ou tetraetilchumbo ($C_8H_{20}Pb$) misturado à gasolina. Esse composto era aditivado ao combustível para aumentar a octanagem do combustível evitar o fenômeno de detonação do motor. O chumbo liberado na combustão do aditivo provoca o

¹ Motores do ciclo Otto são aqueles em que a ignição da mistura comburentes ocorre a partir da emissão de uma centelha elétrica produzida pela aplicação de alta voltagem em um par de eletrodos instalados no componente chamado “vela de ignição”.

² Veículos *flex fuel*: Veículo cujo projeto permite o uso de gasolina C (gasolina comercial que possui etanol anidro em sua composição), etanol hidratado ou qualquer mistura entre os dois combustíveis (CETESB, 2014)

recobrimento das superfícies dos catalisadores, reduzindo sua eficiência. Na época os catalisadores ainda não eram utilizados no Brasil, mas já se previa que seriam necessários para novas etapas de controle da emissão, conforme já ocorria em países com a legislação mais avançada, como nos EUA. Além disso, a própria emissão do chumbo na atmosfera após a combustão da gasolina nos motores provocava um grave risco de contaminação pela toxicidade à saúde humana (PANTAROTO, 2007).

Em substituição ao aditivo composto de chumbo foi introduzida uma parcela de 20% de etanol (C_2H_6O) anidro à gasolina. O uso dessa parcela de combustível oxigenado permitiu um ganho nas emissões, em especial a redução das emissões de monóxido de carbono (CO) nas primeiras fases do PROCONVE.

Em 2014, a especificação da gasolina sofre novas alterações, com destaque para a redução do teor máximo de enxofre para 50 mg/kg e reduções no teor de compostos olefínicos e aromáticos.

O diesel é utilizado predominantemente nos veículos comerciais, em especial caminhões e ônibus. Alguns modelos comerciais leves, como pick-ups e vans também utilizam diesel. O diesel comercializado no Brasil para a aplicação em veículos rodoviários recebe 8% de biodiesel e tem teor de enxofre limitado a 500 mg/kg, no chamado diesel comum, e de 10 mg/kg no diesel com baixo teor de enxofre, destinado a regiões metropolitanas e veículos equipados com sistema de controle de emissões com catalisador.

O GNV é utilizado de forma marginal no Brasil, com destaque para algumas regiões metropolitanas, como o Rio de Janeiro.

Para a realização de ensaios de emissão e consumo em laboratório são utilizados combustíveis de referência, com especificações próprias. O percentual de mistura de etanol anidro na gasolina é fixado em 22%. No diesel não há mistura com biodiesel.

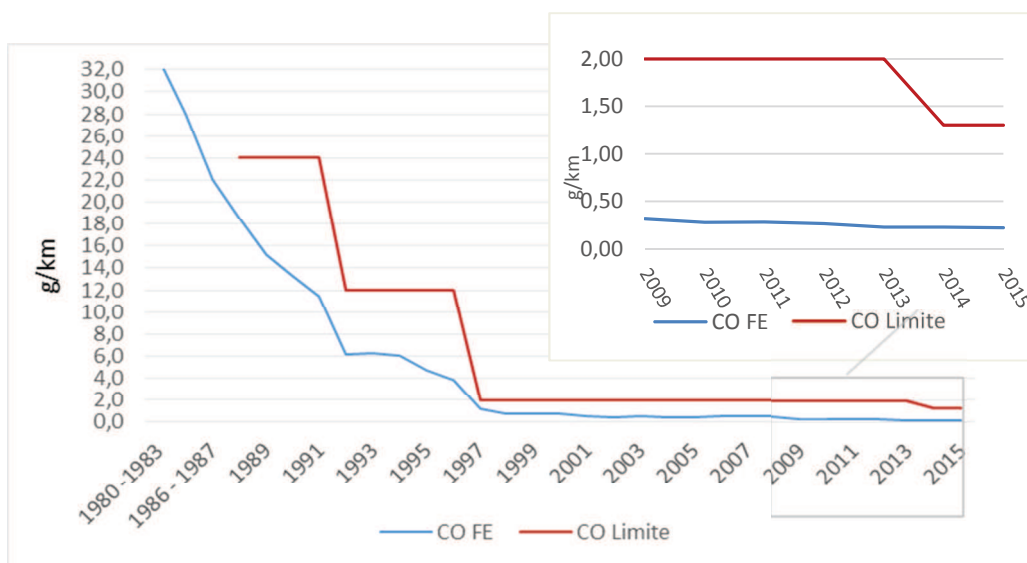
A redução da emissão da exaustão (ou emissão do escapamento)

A partir da imposição do atendimento dos padrões máximo de emissão de gases poluentes e a incorporação de tecnologias de controle, houve significativa redução das emissões dos veículos leves do ciclo Otto no Brasil.

Os gráficos 1 a 4 apresentam a evolução dos fatores médios de emissão para automóveis novos (média dos automóveis dedicados a gasolina e flex-gasolina), utilizados nos cálculos de inventário, e dos limites de emissão para os veículos leves novos do CO, NO_x, NMHC e RCHO. Apresentam também, em destaque, o período de 2009 a 2015.

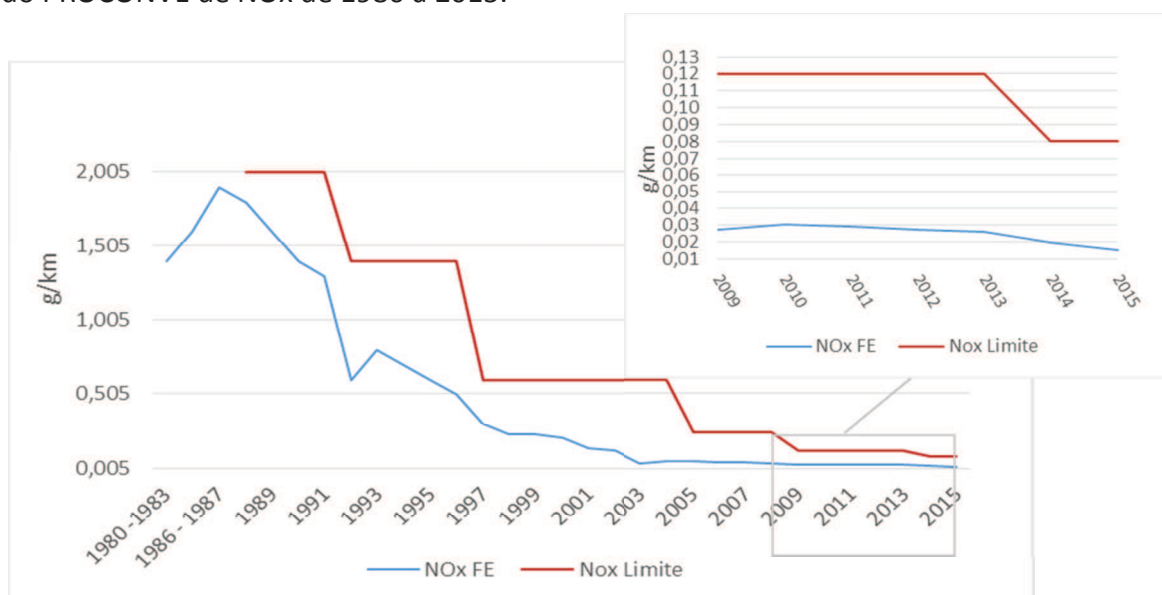
Observa-se no gráfico 1 que o limite de emissão para o monóxido de carbono (CO) era de 24 g/km no início do programa e chegou aos atuais 1,3 g/km na Fase L6, uma redução de 95%. Os fatores médios de emissão apresentam uma redução ainda maior, em torno de 99%.

Gráfico 1 – Evolução do fator de emissão de automóveis (gasolina e flex-gasolina) e limites do PROCONVE de CO de 1980 a 2015.



Para os óxidos de nitrogênio (NOx) a redução do limite de emissão na Fase L1 para a Fase L6 é na ordem de 96%, partindo de 2,0 g/km e chegando a 0,08 g/km, enquanto os fatores médios de emissão são 99% menores que na fase L6.

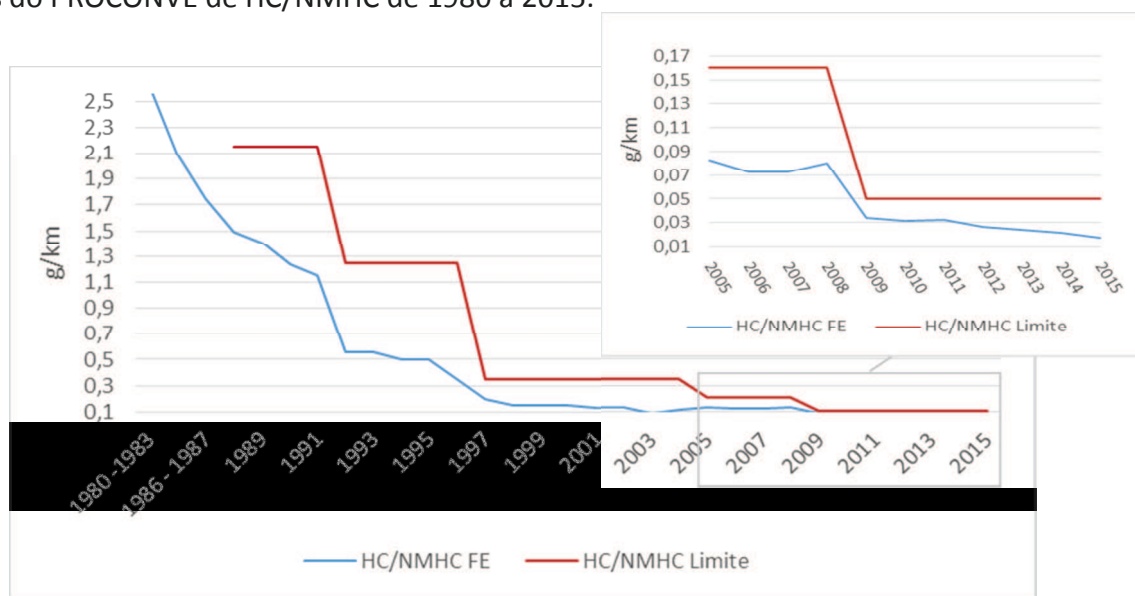
Gráfico 2 – Evolução do fator de emissão de automóveis (gasolina e flex-gasolina) e limites do PROCONVE de NOx de 1980 a 2015.



Até a fase L3 eram estabelecidos limites de emissão para os hidrocarbonetos totais (HC) para todos os automóveis. A partir da fase L4 (2005) foram estabelecidos limites de emissão para os hidrocarbonetos totais apenas para os veículos movidos a GNV (gás natural veicular) e para os veículos movidos a gasolina, etanol ou flex-fuel foram estabelecidos limites de emissão para hidrocarbonetos menos metano (NMHC).

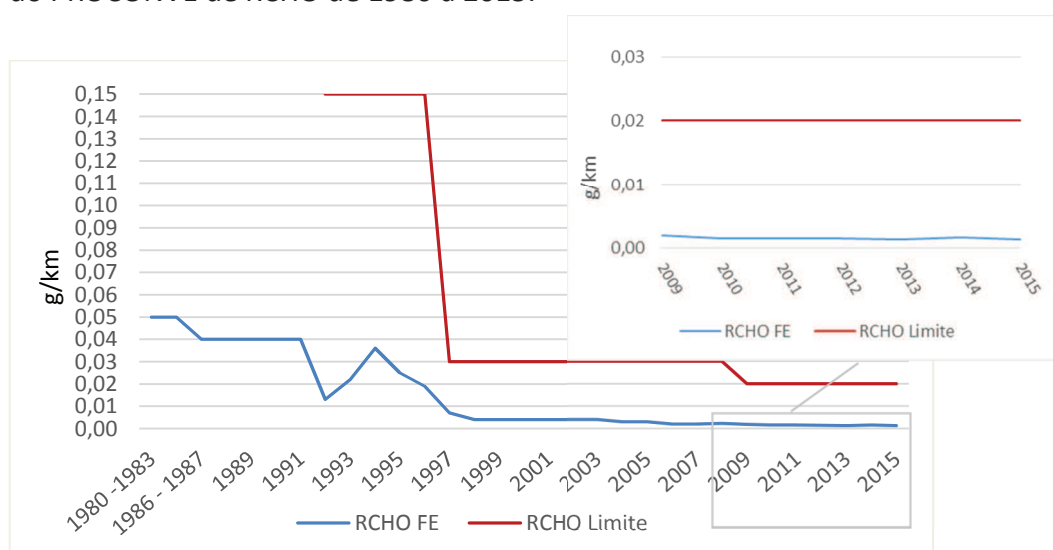
O gráfico 3 mostra a evolução dos fatores de emissão para HC/NMHC que foram calculados desde o início do PROCONVE e os limites de emissão a partir de 2005. Esses limites eram de 0,16 g/km em 2005 e passaram para 0,05 g/km na fase L5 e permaneceram na fase L6. Os fatores médios de emissão iniciaram o programa em 2,55 g/km e estão atualmente em 0,017 g/km.

Gráfico 3 – Evolução do fator de emissão de automóveis (gasolina e flex-gasolina) e limites do PROCONVE de HC/NMHC de 1980 a 2015.



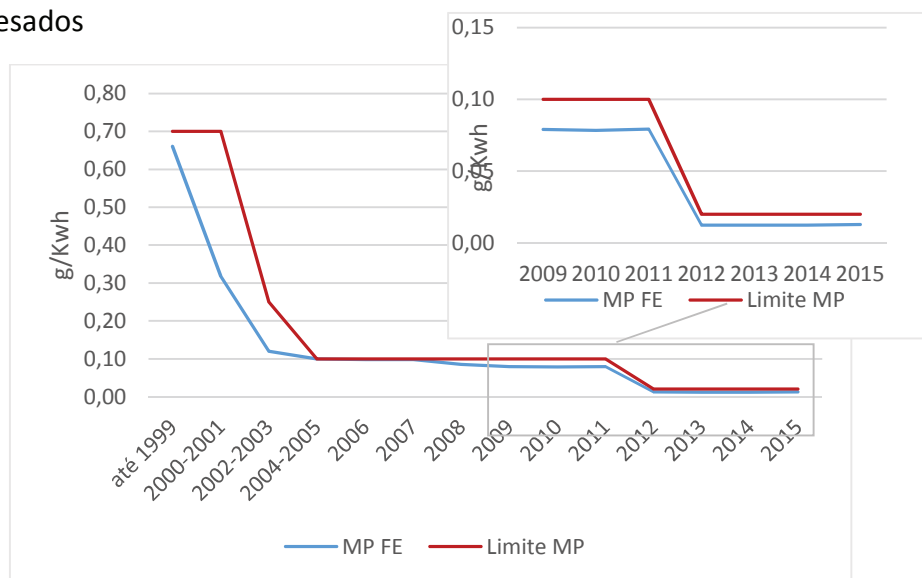
No caso dos aldeídos (RCHO), apresentados no gráfico 4, os limites de emissão estão 87% menores na fase atual (L6) comparados à fase L2. Os fatores de emissão tiveram uma redução média de 97% quando comparados os valores do início do programa aos dias atuais. Partiram de 0,05 g/km para os atuais 0,0013 g/km.

Gráfico 4 – Evolução do fator de emissão de automóveis (gasolina e flex-gasolina) e limites do PROCONVE de RCHO de 1980 a 2015.



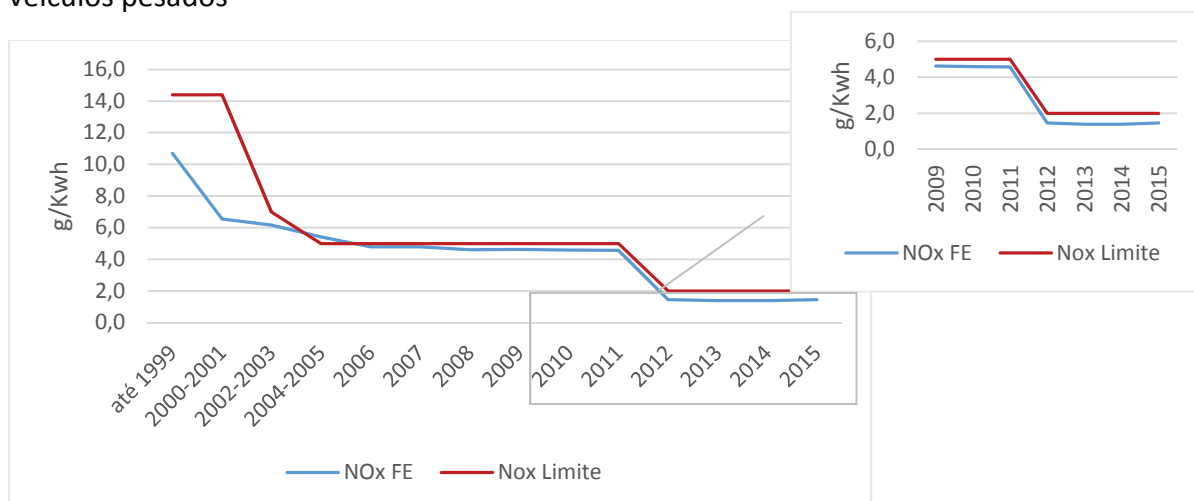
Os gráficos 5 e 6 mostram os fatores e limites de emissão para os motores dos veículos pesados de MP e NOx expressos em g/Kwh. Destaca-se que todos os veículos pesados no Brasil são movidos a diesel. Observa-se no gráfico 5 que tanto os fatores de emissão quanto os limites de emissão de MP estão 98% menores na fase P7 quando comparados aos valores do início do programa. Observa-se também que, desde 2004 os fatores médios estão muito próximos aos limites de emissão.

Gráfico 5 – Evolução do fator de emissão e limites do PROCONVE de MP para os veículos pesados



No caso do NOx, no gráfico 6, observa-se que tanto os fatores de emissão quanto os limites de emissão estão 86% menores na fase P7 quando comparados aos valores do início do programa e que desde 2002 os fatores de emissão estão muito próximos aos limites. Observa-se também que em 2004/2005 o fator de emissão está maior que o limite. Esse fato ocorreu pois esse período foi uma transição entre as fases P4 e P5 e os fatores de emissão foram obtidos a partir dos modelos de ambas as fases.

Gráfico 6 – Evolução do fator de emissão e limites do PROCONVE de NOx para os veículos pesados

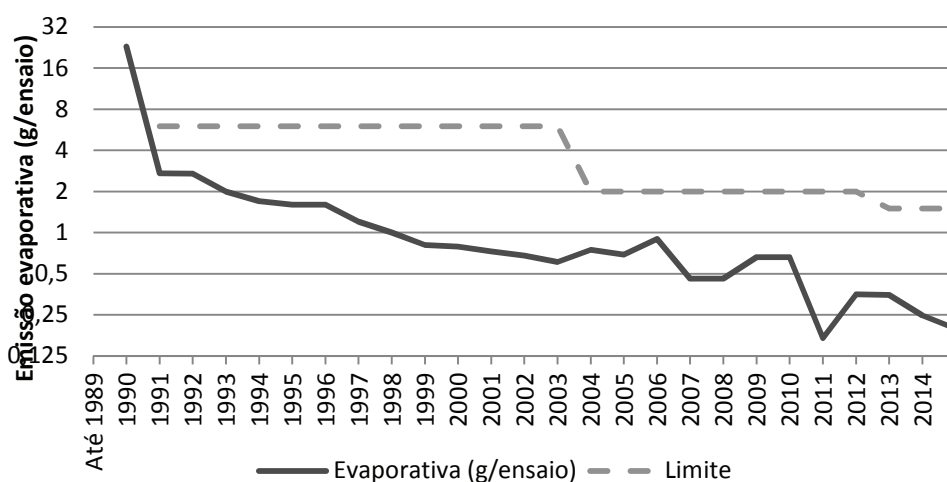


A redução da emissão evaporativa

Em 1990 entrou em vigor o primeiro limite para emissão evaporativa. Com a incorporação de tecnologias de controle, houve significativa redução da emissão de COV evaporado dos veículos leves do ciclo Otto no Brasil.

O gráfico 7 apresenta os fatores de emissão médios para cada ano de fabricação e o limite máximo previsto pelo PROCONVE. Os dados refletem a emissão dos veículos leves novos movidos a gasolina.

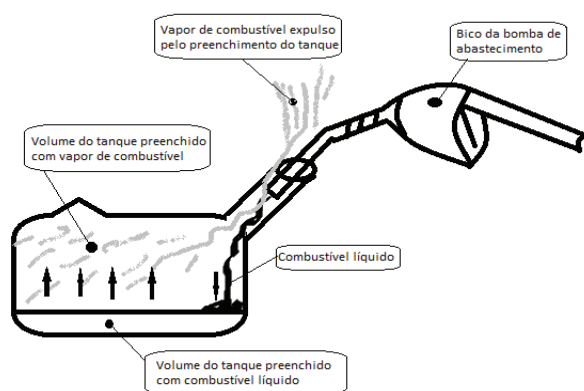
Gráfico 7 - Evolução histórica dos fatores de emissões evaporativa para veículos leves do ciclo Otto movidos a gasolina.



A emissão de abastecimento

A parcela de vapor que é perdida durante o abastecimento do veículo não é objeto de controle na legislação atual. O vapor contido no tanque é lançado na atmosfera durante o processo de abastecimento através do duto e bocal do tanque, enquanto o volume é preenchido pelo combustível líquido. Na Figura 222 é mostrado um esquema da emissão do vapor durante o abastecimento.

Figura 22 – Esquema do processo de emissão de vapor durante o abastecimento

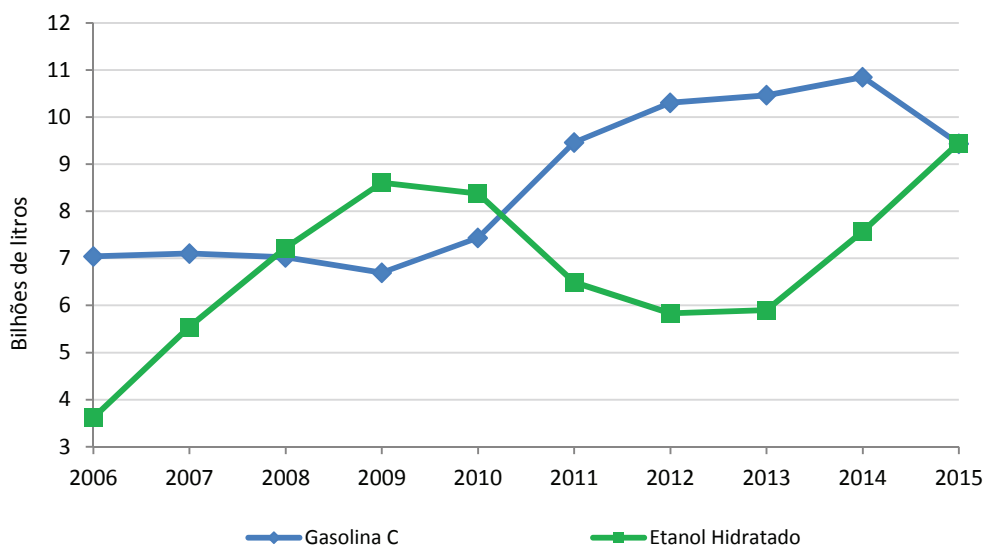


Fonte: CETESB.

Para avaliar a emissão de COV no abastecimento da frota em circulação na RMSP, foi desenvolvida uma metodologia por BALES et al. (2015). O resultado do estudo concluiu que a emissão de abastecimento na RMSP corresponde a aproximadamente 22% da emissão total de COV da frota circulante, considerando os veículos leves e os comerciais leves que utilizam motor do ciclo Otto.

A emissão de abastecimento está diretamente associada ao consumo de combustível, considerando que nenhum dos veículos comercializados no Brasil possuem qualquer sistema de controle. O consumo de combustível vem crescendo sistematicamente ao longo dos anos. O gráfico 8 é mostrada a evolução do consumo de etanol e gasolina no Estado de São Paulo no período de 2006 a 2015. Nota-se que o consumo total é crescente ao longo dos anos, variando apenas o *mix* de venda entre etanol e gasolina.

Gráfico 8 - Evolução do consumo de etanol e gasolina no Estado de São Paulo no período de 2006 a 2015



Fonte: CETESB (2015b), adaptado.

Resultados gerais do PROCONVE

O Gráfico 9 apresenta a evolução das emissões de poluentes na RMSP. Pode-se observar que a emissão dos poluentes apresenta uma tendência de queda, motivada pela incorporação de veículos com novas tecnologias em substituição aos veículos antigos, mais poluidores.

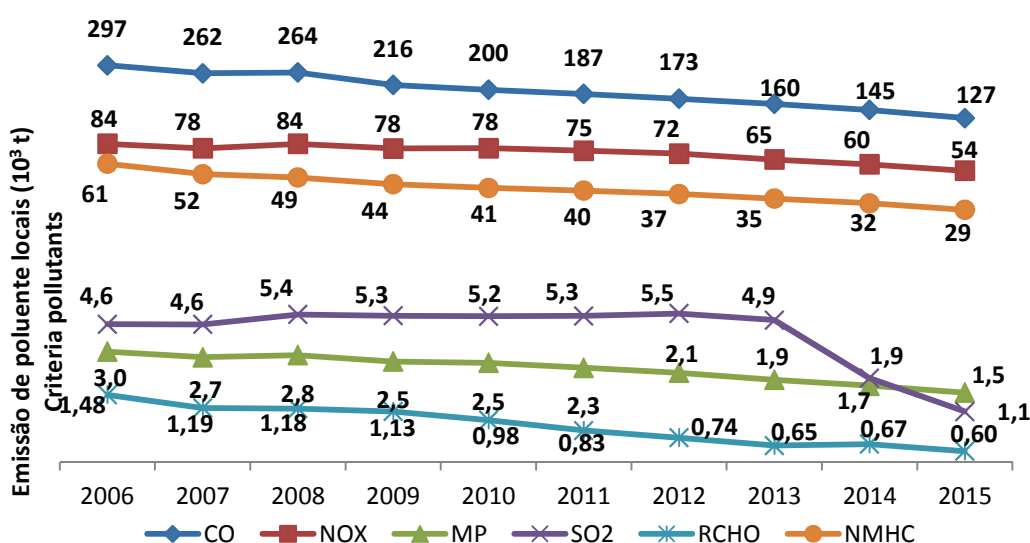
Mesmo com a tendência de queda nas emissões de MP, as partículas inaláveis finas (MP_{2,5}) alcançaram ou ultrapassaram o padrão anual (20 µg/m³) em cinco estações de monitoramento da qualidade do ar. O padrão diário (60 µg/m³) foi ultrapassado em quatro estações (30).

A emissão de SO₂ sofreu redução drástica a partir de 2014 em função da alteração do teor de enxofre do diesel a partir de 2013 e em especial da gasolina a

partir de 2014. Em 2015, esse poluente não apresentou nenhum episódio de ultrapassagem do padrão de qualidade do ar na RMSP.

Apesar das emissões dos poluentes NO_x e COV (NMHC e RCHO apresentarem uma tendência de queda, em 2015 ocorreram 36 dias com ultrapassagem do padrão de ozônio na RMSP. Desses, a qualidade do ar foi classificada como “Ruim” ou “Muito Ruim” em 32 dias e “Péssima” em quatro dias (30). Esses dados reforçam a necessidade da redução desses poluentes.

Gráfico 9 - Evolução das emissões de poluentes na RMSP



O futuro do PROCONVE

A CETESB apresentou e está atualmente discutindo com o IBAMA e a indústria propostas para as novas fases do PROCONVE e do PROMOT.

Ainda que não estejam consensadas nos detalhes, essas propostas buscam alinhar os padrões de emissão dos veículos com a legislação atualmente aplicada nos EUA, no caso de veículos leves, e na Europa, para os veículos pesados e as motocicletas.

Os novos padrões deverão entrar em vigor ao longo da década de 2020.

Além disso, está proposta uma mudança metodológica para aprovação nos processos de licenciamento, que deixará de ser por modelo de veículo e passará a ser pela média corporativa, exigindo que o mix de produtos de uma empresa apresente uma média de emissão que atenda os limites progressivamente mais restritivos. Assim, induz-se à produção de veículos de emissão zero (como elétricos), que compensam a produção de veículos que sejam mais emissores.

Outra inovação proposta são os limites de emissão de gases do efeito estufa, que quando em vigor irão promover a melhoria da eficiência energética dos veículos, induzir à redução do consumo de combustível e contribuir para a redução global das emissões que o país se propôs a fazer na Convenção do Clima.

Leitura complementar

Principais contaminantes da qualidade do ar nos centros urbanos

Observada de forma sistemática desde a primeira metade do século XX, a poluição do ar era causada basicamente por processos industriais e pela queima de carvão para aquecimento das residências. O crescente desenvolvimento gerado pela industrialização e a urbanização nesse período levaram aos primeiros episódios de comprometimento da qualidade do ar e da saúde das populações de várias cidades no hemisfério norte, conforme relatam BRAGA et al. (2001).

No começo dos anos 1960, os EUA estabeleceram os primeiros padrões de qualidade do ar para poluentes partículas totais (PTS), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃) e chumbo (Pb), a partir da promulgação da Lei do Ar Limpo (Clean Air Act). Posteriormente foram adotados também padrões para material particulado (MP₁₀) e material particulado fino (MP_{2,5}). Em 1970, a recém-criada Agência de Proteção Ambiental (EPA) passa a administrar as questões de qualidade do ar.

Em 1972 a ONU realizou Primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente, onde foi criada a UNEP, que em parceria com a WHO realizou uma série de estudos sobre qualidade do ar que levaram ao estabelecimento de metodologias de monitoramento, estudos de impactos na saúde e recomendações para controle de fontes. Na primeira fase, os poluentes avaliados eram PTS, CO, NO₂, MP₁₀, Pb e O₃ (MAGE et al., 1996).

Em 1987 a WHO publicou as primeiras diretrizes para o estabelecimento de metas de qualidade do ar. Essas diretrizes foram revisadas em 1997 e em 2005. Em 2013, o relatório *Review of evidence on health aspects of air pollution Project – REVIHAAP* apresentou uma ampla revisão de estudos científicos concluindo que existem evidências de que as diretrizes estabelecidas em 2005 devem ser atualizadas para se garantir a proteção à saúde (WHO, 2013). Além dos poluentes NO₂, MP (com variações do diâmetro aerodinâmico), O₃ e SO₂, avaliou a emissão de metais (arsênio, cádmio, níquel, chumbo e mercúrio), carbono elementar (*black carbon*) e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH).

MONKS et al. (2009) fazem ampla revisão de estudos que caracterizam os compostos emitidos por fontes biogênicas e antropogênicas e os encontrados na atmosfera, listando entre outros os compostos orgânicos voláteis (COV) de várias fontes, poeira, aerossóis, CO, NO, NO₂, SO₂, MP, fumaça, amônia, metano, carbono elementar (*black carbon*), PAH, compostos orgânicos oxigenados, nitratos, sulfatos, halogênios entre outros.

Estudo de HSU et al (2013) recomenda ainda o estabelecimento de indicadores de poluição do ar que incluam a interação entre os compostos MP, O₃, mercúrio e poluentes orgânicos persistentes (POPs).

Poluição do ar e agravos à saúde

BRAGA et al (2001), revisou uma série de estudos realizados no Município de São Paulo e concluiu que crianças, adolescente e idosos são as faixas etárias mais suscetíveis aos efeitos da poluição do ar na saúde. Encontrou associação entre concentração de poluentes e mortes fetais, aumento nas consultas ao pronto-socorro e internações por doenças respiratórias e cardiovasculares, aumento da mortalidade por doenças respiratórias de crianças e idosos devido ao aumento da poluição do ar.

BRUNEKREEF E HOLGATE (2002) fizeram uma ampla revisão dos estudos sobre a relação entre saúde e poluição disponíveis na base *Medline* no intervalo de 20 anos até 2002. Entre os cerca de 200 estudos revisados, destacaram aqueles relacionados aos poluentes ozônio (O₃), material particulado (MP) e óxido de nitrogênio (NO). Explicam que a importância desses compostos emergiu nos anos 1980, a partir da urbanização e do controle dos poluentes incidentes em períodos anteriores, como compostos de enxofre e fumaça preta.

LAURENT et al. (2013) estudaram registros de nascimentos de filhos de mães residentes nas regiões de Los Angeles e Orange, Califórnia (EUA) e associou o baixo peso ao nascer com exposição aos poluentes atmosféricos dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃). A partir de uma base com mais de 100 mil registros, foram eliminados aqueles em que outras condicionantes influenciariam na redução do peso, tais como questões de saúde da gestante, gestação múltipla, pré ou pós maturidade do bebê. Aspectos de etnia, condição socioeconômica, tipo de atendimento à saúde e condições de saúde da mãe foram considerados. Foi encontrada associação positiva entre o aumento da concentração de O₃ e aumento do risco de baixo peso ao nascer.

BELL et al. (2006) afirmam que qualquer contribuição antropogênica de ozônio para o ambiente, mesmo a mais sutil, ainda apresenta incremento no risco de mortalidade prematura.

Estudo realizado com 1900 crianças de oito anos de idade na Suécia monitorou a função pulmonar por espirometria e reação alérgica por concentração de imunoglobulina no sangue e demonstrou a associação entre a exposição à poluição do ar e a redução da função pulmonar, em especial asmáticos e alérgicos (SCHULTZ et al., 2012).

HABERMANN E GOUVEIA (2012) associaram o aumento da taxa de mortalidade por doenças do aparelho circulatório em homens e a densidade de vias na região de residência dos mesmos no Município de São Paulo, concluindo que esse aumento ocorreu em função da exposição aos poluentes atmosféricos e ao ruído gerado pelo tráfego de veículos.

PEREZ et al. (2012) associaram a incidência de asma em crianças residentes nas proximidades de vias de grande tráfego de veículos na região de Los Angeles, Califórnia (EUA). De acordo com o estudo, aproximadamente 8% dos atendimentos no sistema de saúde por sintomas de asma eram de pessoas que moravam até 75 metros de distância da residência à via principal do bairro, enquanto que 65% dos atendimentos

eram devidos aos agravos nos sintomas respiratórios devido à poluição da região, incluindo os residentes próximos ou não das vias principais dos bairros. O estudo considerou como indicadores a concentração de NO₂ e de O₃ para demonstrar a influência direta da via e da poluição dispersa na região (background).

Estudo realizado na Cidade do México por SHIELDS et al. (2013), mostrou associação entre alteração da frequência cardíaca e poluição do ar em adultos, o que leva ao aumento do risco de doenças cardíacas. Os participantes tiveram os batimentos cardíacos monitorados por equipamento tipo *Holter* por um período contínuo de 9,5 horas, enquanto percorriam regiões diferentes da cidade com um veículo que monitorava a qualidade do ar, medindo as concentrações de diversos poluentes. Técnicas estatísticas demonstraram o impacto dos poluentes ozônio e Partículas Inaláveis Finas (MP_{2,5}) em exposição de curto prazo na frequência cardíaca dos participantes.

A Organização Mundial de Saúde afirma que a exposição repetida ao ozônio pode tornar as pessoas mais suscetíveis à inflamação do sistema cardiorrespiratório, à redução da função pulmonar, à arteriosclerose, à asma e à redução da expectativa de vida. Nesse universo se destacam os asmáticos, crianças e idosos (WHO, 2013).

PARKER e WANG (2014) revisaram 22 estudos realizados na América do Norte e Europa relacionados ao diabetes mellitus tipo 2 e encontraram associação entre exposição a longo prazo ao MP_{2,5} e risco à doença, mesmo considerando que essas regiões têm baixa concentração de poluentes.

Estudo realizado no Canadá (HYSTAD et al., 2015) estabeleceu associação entre aumento na taxa de concentração de NO₂, poluente diretamente ligado aos processos de combustão e, em áreas urbanizadas, tráfego veicular e câncer de mama. A partir da análise de dados no período de 1994 e 1997, relativo a uma população exposta ao poluente entre 1975 e 1994, foi possível observar que o aumento de 10 ppb na concentração de NO₂ correspondeu ao aumento na taxa de risco para câncer de mama de 1,07 a 1,32, conforme a condição de pré ou pós menopausa.

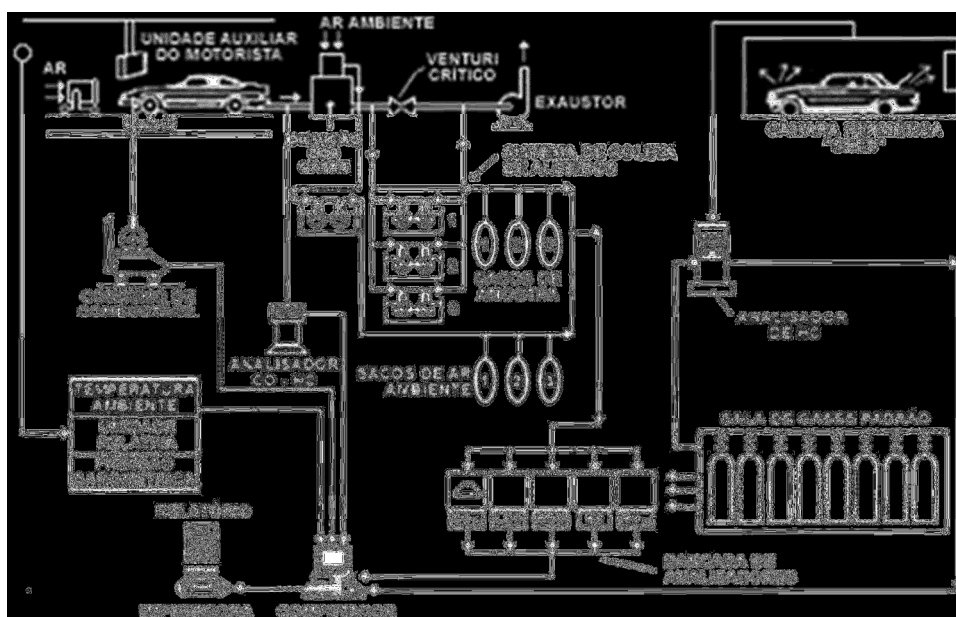
O ensaio de emissão do veículo leve

O ensaio de veículo leve para mensurar a emissão dos gases de exaustão é realizado de acordo com a legislação brasileira segue a metodologia constante na norma ABNT NBR 6601 (ABNT, 2005). De acordo com a norma, o veículo percorrerá um ciclo de condução que simula as condições de tráfego urbanas, com partida a frio, acelerações e desacelerações variadas, uma parada de dez minutos com o veículo desligado e nova partida com mais um trecho de condução. O veículo percorre no total aproximadamente 18 quilômetros durante 50 minutos. Durante a operação, os gases de escapamento são coletados, diluídos em ar e armazenados em sacos. Após o término de cada uma das três fases em que o ciclo é dividido, as amostras são analisadas e o resultado final é o total de poluente emitido por quilômetro rodado.

Para se mensurar a emissão de COV evaporados, o veículo é colocado dentro de uma câmara hermeticamente fechada (SHED). O ensaio é dividido em duas fases. A primeira, chamada fase fria, consiste no aquecimento controlado do combustível armazenado no tanque do veículo durante uma hora. Em seguida o veículo é submetido a um ensaio de emissão de exaustão e retorna por mais uma hora na câmara. Nesta segunda fase não há aquecimento do combustível. Ao final de cada fase o ar dentro da câmara é amostrado e a concentração de COV mensurada. A soma das concentrações das duas fases é a emissão evaporada total do veículo que deve atender aos padrões vigentes.

Na Figura 3 é apresentado um desenho esquemático de um laboratório de emissões.

Figura 3 - Desenho esquemático de um laboratório de emissões



Fonte: arquivos CETESB.

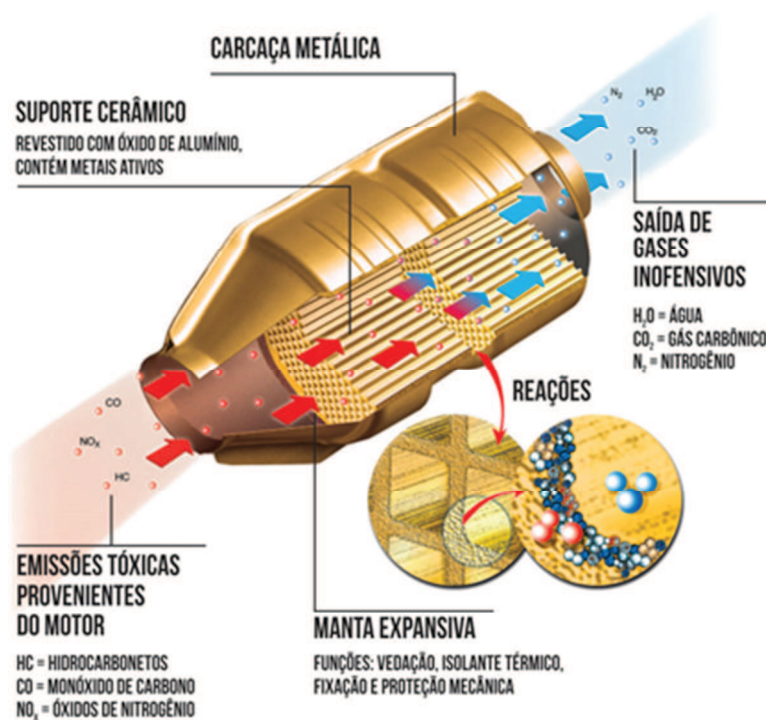
O catalisador

Outro destaque é a incorporação do conversor catalítico ou catalisador, como é comumente denominado, em praticamente toda a gama de modelos de veículos leves comercializados no Brasil a partir de 1997, para atender a fase L3. Esse dispositivo promove a oxidação de CO e COV e a redução do NOx presentes na exaustão do motor, reduzindo de maneira significativa a emissão.

Consiste basicamente de uma estrutura cerâmica em forma de colmeia, que apresenta grande extensão de área superficial em um volume reduzido, além de estabilidade dimensional mesmo a altas temperaturas. Nessa estrutura são depositados sais e metais, através de banho em solução aquosa, denominado *washcoat*. Em seguida sofre tratamento térmico para a evaporação da água e posterior calcinação, que promove a impregnação dos sais e metais. Os sais promovem o aumento da área de contato e os metais promovem a aceleração das reações de oxidação e redução. Os metais utilizados para promover a reação catalítica são combinações variadas de platina, paládio e ródio, em geral dois metais (MARTINS, 2006) mostra uma ilustração de um catalisador típico aplicado em veículo leve do ciclo Otto.

Em condições normais de funcionamento, considerando também o controle da combustão pela injeção e ignição eletrônicas, o catalisador tem eficiência aproximada de 99% na redução da emissão. A Figura 4 apresenta uma ilustração com detalhes da estrutura e reações químicas que ocorrem em um catalisador automotivo.

Figura 4 - Ilustração de um modelo típico de catalisador aplicado em veículos leves do ciclo Otto



Fonte: Umicore

O cânister

Em diversos pontos de um veículo há perda de vapor de combustível. Antes da implantação do PROCONVE os principais eram no respiro do tanque, no bocal de abastecimento, no respiro do cárter (reservatório de óleo lubrificante do motor) e no carburador, componente do sistema de alimentação que dosava a mistura de ar e combustível a ser aspirada pelo motor. Esse componente era provido de um pequeno reservatório de combustível que emanava vapor por estar dentro do compartimento do motor, logo acima deste, recebendo calor em todo o período de operação do veículo.

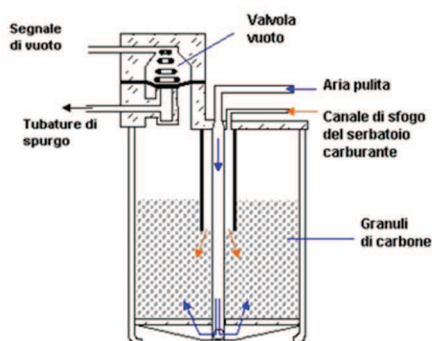
As primeiras medidas de controle, no final dos anos 1980, foram o uso de tampa estanque para fechamento do bocal de abastecimento e o respiro fechado do cárter, por meio de recirculação dos gases. A tampa estanque não permite a saída de quantidade significativa de vapor quando devidamente fechada. Para o respiro do cárter foi utilizada um sistema de dutos e válvula que direcionam os gases para o coletor de admissão para combustão no motor.

Em seguida, ainda no começo dos anos 1990, foi introduzido o sistema de coleta de vapor no respiro do tanque, no qual o principal componente é o cânister. Esse componente é um reservatório de carvão ativado, que promove a adsorção do vapor de combustível quando o sistema (tanque e válvulas) atinge a pressão de alívio e dirige o vapor para o respiro, reduzindo a perda de vapor para a atmosfera.

Em meados dos anos 1990 o carburador foi substituído pela injeção eletrônica, que não possui reservatório de combustível e reduz drasticamente a emissão de vapor.

No sistema de alimentação de combustível, formado por tanque, bomba, filtro, dutos e conexões, o avanço seguinte foi a redução do comprimento dos dutos de combustível com a utilização de sistemas sem retorno e a instalação do conjunto bomba e filtro dentro do tanque, reduzindo a quantidade de conexões em contato com a atmosfera. Na Figura 5 é mostrado um modelo esquemático de cânister de aplicação veicular.

Figura 5 - Ilustração de um modelo típico de cânister aplicado em veículos leves do ciclo Otto



Fonte: Pcb Automotive.