

# Requisitos ambientais para o transporte

GABRIEL MURGEL BRANCO\*, FÁBIO CARDINALE BRANCO\*\* E MARCELO CARDINALE BRANCO\*\*\*

## ANTECEDENTES

Não restam dúvidas no campo científico de que o trânsito de veículos se constitui atualmente na principal fonte de geração de emissões atmosféricas e de ruído nas regiões urbanas onde, devido à concentração da população, ocorrem os maiores impactos à saúde das pessoas.

Isso não é nenhuma novidade. É de conhecimento geral que a poluição do ar nos grandes centros urbanos é principalmente determinada pela emissão de gases pelos veículos, assim como também é de conhecimento geral que os governos têm sido muito tímidos em suas ações para mudar essa realidade.

Em 1986, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) criou o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos automotores (Proconve), lançado em três fases: 1988, 1992 e 1997 para veículos leves. O Programa já reduziu as emissões veiculares em 80% a 99%, dependendo do poluente considerado e da categoria dos veículos, resultando na eliminação dos problemas atmosféricos relacionados ao monóxido de carbono (CO), do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e de compostos de chumbo, reduzidos com o aprimoramento dos veículos e dos combustíveis. Entretanto, ainda persistem os problemas de ozônio e material particulado na atmosfera, apesar dos avanços conquistados.

O Proconve é um Programa voltado à modernização tecnológica dos veículos e, por conta da evolução tecnológica, atingiu índices tão altos de redução das emissões ao longo dos anos. Em contrapartida, a transferência desta redução efetivamente para a atmosfera é lenta, por depender do sucateamento dos veículos mais antigos e da sua substituição pelos mais modernos. Ou seja, os veículos saem de fábrica poluindo menos, mas como a frota que circula nas ruas vai sendo substituída lentamente, o nível de poluentes no ar também cai lentamente. Entretanto, a eficácia desta estratégia é garantida em longo prazo, como se pode observar na figura 1 que mostra o número de dias

por ano em que a qualidade do ar não obteve qualificação “boa” (que corresponde a metade do nível estabelecido como padrão estadual de qualidade do ar), conforme as medições efetuadas pela Cetesb. É notável a redução das violações durante a década de 1990, até atingir um patamar estável nos anos 2000. Em 2009 a implantação, na cidade de São Paulo, do Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M-SP modificou novamente o comportamento da frota - e da qualidade atmosférica -, quando as violações por CO foram virtualmente eliminadas com o combate às desconformidades provocadas pela falta de manutenção dos veículos em circulação. Fica claro, portanto, que o Proconve induziu a indústria automobilística a produzir veículos cada vez menos poluentes ao longo dos anos, mas se não houver manutenção adequada desses veículos eles vão, gradativamente, poluindo cada vez mais e reduzindo assim os ganhos ambientais conquistados pelo Programa e pela evolução tecnológica dos veículos novos.

No gráfico da figura 1, a linha azul nos mostra também o número de dias desfavoráveis do ponto de vista da dispersão de poluentes (pouco vento, sem chuva etc.). Nota-se que a partir do ano 2000, mesmo nos anos que apresentaram mais dias desfavoráveis a essa dispersão, o número de dias com qualidade regular, inadequada ou má permaneceu em níveis bastante reduzidos, se comparada com anos anteriores, demonstrando a consistência dessa redução.

## MATERIAL PARTICULADO

O material particulado (MP) é formado pelas partículas em suspensão no ar. Relativo à emissão dos veículos, é a fumaça da combustão, visível em muitos veículos Diesel (fumaça preta) e em automóveis que

estão “queimando óleo” (neste caso, fumaça azul de gotículas de hidrocarbonetos), mas também as partículas ainda mais finas e invisíveis a olho nu provenientes da combustão de qualquer motor, por melhor que seja. São partículas altamente tóxicas e de diâmetro inferior a 0,5 micron e, portanto, de alta penetração no sistema respiratório e de difícil eliminação. A redução e controle dessas partículas se dá pela otimização do controle da combustão associado à filtragem dos gases para reduzir não apenas a massa de MP, mas também o número de partículas.

## OZÔNIO

A formação de ozônio na atmosfera é um dos problemas mais complexos a enfrentar na redução da poluição atmosférica no mundo todo.

A grande dificuldade de tratar este poluente é que ele não é emitido diretamente pelas fontes, mas é formado a partir de dezenas de reações químicas processadas na atmosfera a partir dos óxidos de nitrogênio (NOx) e dos compostos orgânicos voláteis (COV), chamados poluentes primários. As fontes predominantes de NOx são os motores Diesel, e dos COV são a evaporação de gasolina e a queima parcial do etanol nos automóveis e caminhonetes, itens ainda timidamente controlados pelo Proconve.

Além dos efeitos diretos dos poluentes primários (alguns dos COV são compostos

cancerígenos, enquanto que o NOx possui efeito deletério sobre a vegetação), o ozônio reflete os riscos à saúde pública, inerentes aos compostos secundários e radicais livres que se formam fotoquimicamente na atmosfera a partir dos primeiros.

A formação do ozônio pode ser entendida estatisticamente, visto que os fenômenos dependem da aleatoriedade de diversas variáveis incontroláveis como a intensidade, a forma de uso, maneira de dirigir e o estado de manutenção dos veículos, a difusão atmosférica, o tempo de residência dos poluentes primários e a intensidade da radiação solar, os momentos dos picos de tráfego e a distância entre as ocorrências dos picos de automóveis e caminhões, uma vez que cada um destes segmentos responde por uma parte do problema.

As pesquisas e estudos científicos demonstram que a dependência entre as concentrações de ozônio e as de NOx e de VOC (ou de NMOG - gases orgânicos não metânicos) comporta-se de acordo com as curvas de isoconcentração de ozônio indicadas na figura 2, de forma que abaixo do eixo inclinado a redução de NOx resulta na redução do ozônio mas, inversamente, acima deste eixo, a redução isolada do NOx desequilibra as reações químicas aumentando o ozônio, o que torna obrigatório o controle simultâneo dos compostos orgânicos.

O monitoramento do ozônio realizado pela Cetesb indica a violação dos padrões de qualidade do ar em dezenas de dias por ano (é permitido apenas uma vez por ano), observando-se uma redução nos últimos anos resultante da redução das atividades econômicas da sociedade devida à crise econômica que o país atravessa, mas deve voltar a crescer se novas medidas tecnológicas não forem

aplicadas aos veículos nos próximos anos, supondo uma retomada da economia do país.

## O FENÔMENO DA GREVE DOS CAMINHONEIROS

O primeiro efeito da greve dos caminhoneiros havida no primeiro semestre do ano passado com a paralisação quase total dos caminhões foi a redução das emissões de MP e NOx: a associação direta destes fatos levou à observação imediata de menores concentrações desses poluentes na atmosfera.

Entretanto, as concentrações de ozônio *augmentaram* nos primeiros dias, pela redução da emissão de NOx, e *caíram* em seguida, quando começou a faltar gasolina nos postos de combustíveis, diminuindo sensivelmente a circulação de automóveis e, consequentemente, as emissões de COV. Logo após a volta dos caminhões, houve o retorno da emissão de NOx. Entretanto, como o novo equilíbrio elevou as suas concentrações muito acima dos valores iniciais enquanto as emissões de COV ainda estavam ausentes pela falta momentânea de automóveis nas ruas, as concentrações de ozônio reduziram-se ainda mais. Esta sequência de fatos observados durante a greve, tal como ilustrada na figura 2, confirma os estudos existentes e comprova “in loco” a imperiosa necessidade da aplicação de tecnologias capazes de promover reduções drásticas nas emissões de vapores de combustível (nos veículos, postos de serviço e transporte de combustível), de combustível parcialmente queimado (que ocorre na partida dos motores e enquanto o catalisador não atinge a temperatura de trabalho) e de NOx que, se não for controlada tenderá a subir e ultrapassar os padrões de qualidade do ar, que ainda estão marginalmente violados.

## AS EMISSÕES DE COV

Conforme comentado, os COV são emitidos tanto pelo escapamento como por evaporação do combustível dos veículos. Atualmente, as emissões de COV pelo escapamento encontram-se bastante bem controladas pelo Proconve, exceto pela parcela de álcool

que ainda não é contabilizada nas medições de HC por força de uma facilitação concedida para viabilizar o lançamento dos veículos flex em 2004. Atualmente, já existem tecnologias que permitem o controle adequado desta emissão e sua implantação em 2022 foi aprovada somente em dezembro do ano passado.

Entretanto, a principal emissão de compostos orgânicos se dá por evaporação direta do combustível dos veículos, representando 90% a 95% do total de COV emitidos pelos veículos atualmente.

## AS EMISSÕES EVAPORATIVAS DE COMBUSTÍVEL

Existem cinco mecanismos diferentes para a formação de vapores de combustível em um veículo. O controle desta emissão é realizado pela sua adsorção em um recipiente coletor com carvão ativado (canister) e posterior aproveitamento desse combustível no veículo na primeira oportunidade de funcionamento do motor.

- 1) **Emissão diurna** - É a emissão decorrente do aquecimento do veículo durante o dia e do resfriamento à noite, por efeito das variações de temperatura atmosférica e da insolação sobre o veículo estacionado, representando 6% da emissão evaporativa total.
- 2) **Emissão a quente durante o resfriamento do veículo** - É a emissão durante o resfriamento de um veículo após a sua utilização. Devido à tecnologia de controle atual, esta emissão representa apenas 1% da emissão total.
- 3) **Permeação** - Os sistemas de combustível (tanque, mangueiras etc.) contendo componentes confeccionados com materiais plásticos são passíveis de permeação de combustível através das paredes. Esta emissão representa 9% da emissão total.
- 4) **Emissão no reabastecimento** - Durante o abastecimento de combustível ao veículo, a parcela “vazia” do tanque encontra-se preenchida por ar saturado de vapores de combustível, que são expelidos em volume igual ao do líquido que entra no mesmo, podendo ser capturados pelo canister ou liberados para a atmosfera. Sua composição é basicamente a do combustível que já estava no veículo e constitui a segunda parcela mais importante da emissão evaporativa, representando cerca de 20% do total.
- 5) **Emissão do veículo em movimento** - É a principal parcela, respondendo por até 60% da emissão evaporativa total, dependendo das características do veículo. Esta emissão decorre do aquecimento do combustível do

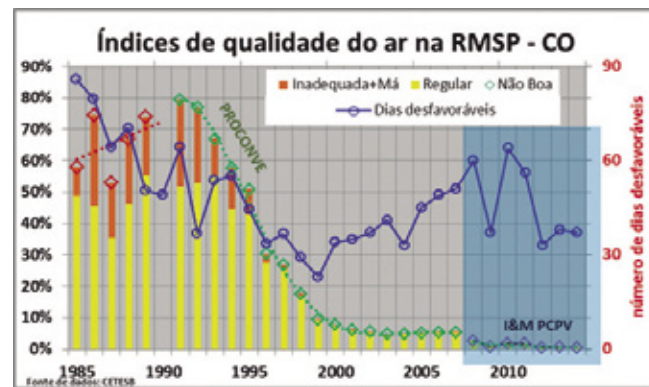


Figura 1 - Índices de qualidade do ar na RMSP - CO

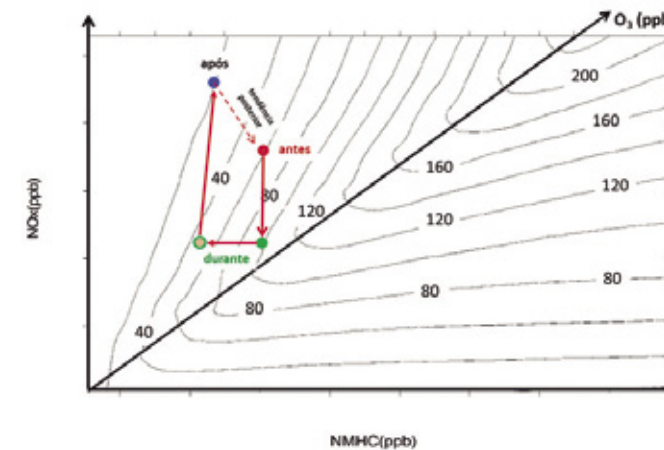


Figura 2 - Equilíbrio fotoquímico entre os poluentes COV, NOx e Ozônio

tanque por causa da irradiação do solo, da ventilação do motor e do retorno do combustível, levando à formação de vapores ("running losses"), que podem ser emitidos para a atmosfera ou coletados e reaproveitados pelo veículo.

O controle destas emissões se resume em: vedação e canalização de todos os respiros para um coletor de vapores; coleta no canister por adsorção dos vapores em carvão ativado; purga do canister com sucção de ar externo, provocada pelo funcionamento do motor que reaproveita o combustível coletado na combustão, regenerando o carvão para a próxima ocorrência de evaporação.

Para atender aos requisitos da legislação em vigor desde 2007, que controla apenas parte das duas primeiras parcelas da emissão evaporativa (diurna e resfriamento) em ensaios de uma hora cada, um canister com cerca de um litro de carvão ativado era suficiente. Entretanto, o controle efetivo destas emissões deverá ser implantado a partir de 2022, com a adoção de ensaios voltados ao controle de abastecimento, que libera um alto volume de vapor em pouco tempo, e ensaios de maior duração, simulando as emissões diurnas por um período de 48 horas. Este tipo de controle aprimorado tem levado, em diversos países, à utilização de canisters de maior volume, tipicamente de dois litros, resultando em alta eficácia de controle de todas as parcelas de emissão evaporativa mencionadas, exceto a de permeação que só pode ser reduzida por meio da substituição dos materiais permeáveis do sistema.

Além das cinco parcelas descritas, existem ainda outras parcelas associadas ao transporte e distribuição dos combustíveis. Trata-se do mesmo mecanismo descrito para a emissão de reabastecimento, mas que ocorrem quando o caminhão-

-tanque é abastecido na distribuidora de combustíveis e quando o tanque do posto é abastecido pelo caminhão. Como estas emissões também são função do volume de combustível abastecido em cada operação, cada uma destas parcelas corresponde isoladamente à mesma emissão do reabastecimento dos veículos por litro de combustível consumido. Portanto, estas operações devem ser controladas por um programa voltado diretamente à distribuição e transporte de combustíveis mediante o emprego de sistemas instalados nos caminhões, nas bases distribuidoras e nos postos de gasolina para captura, retenção e transferência do vapor de um para outro.

No total, as emissões de VOC referentes ao veículo e ao transporte e distribuição de combustíveis pode ser resumido pela figura 3.

**AS EMISSÕES DE NOX E AS FRAUDES**

Conforme comentado anteriormente, o NOx é um poluente característico de veículos diesel. Os caminhões e ônibus vendidos no Brasil desde 2012 (fase Proconve P7) utilizam uma estratégia de controle desta emissão baseada em um catalisador com injeção de uma solução de ureia em água desmineralizada (denominado comercialmente de ARLA 32) para promover a redução química do NOx, liberando como subprodutos nitrogênio puro e água. Este sistema tem mecanismos de controle da injeção de ARLA, que reduzem a potência do motor ao detectar falta do reagente, para persuadir os motoristas a manter o funcionamento adequado do sistema. Entretanto, esta estratégia tem sido fraudada em cerca de 50% pela frota de caminhões, cujos proprietários ou motoristas inibem os dispositivos de controle da injeção de ARLA, para economizar o reagente, aumentando a emissão de NOx em cinco vezes!

Este fato requer a aplicação de controles eletrônicos embarcados mais sofisticados, que serão implantados a partir de 2022, para impedir este tipo de fraude e a fiscalização mais intensa da frota circulante, como já ocorre na América do Norte e Europa.

Outro tipo de fraude, que ficou famosa no mundo todo como o escândalo "dieselgate", também afeta seriamente o controle de NOx. Trata-se da modificação automática do comportamento do motor para tornar o

veículo mais limpo apenas durante os ensaios de emissão exigidos no processo de certificação de modelos, sem que esta condição seja mantida no uso normal. Os veículos modernos possuem capacidade para identificar condições singulares do motor, como por exemplo o tipo de combustível do momento, no caso dos veículos flex, e a maneira de cada pessoa dirigir, fornecendo uma regulagem do motor para cada situação detectada, visando um comportamento mais agressivo ou mais econômico dependendo do caso. O mesmo algoritmo também se presta a identificar uma situação de teste e permite este tipo de fraude, que utiliza a inteligência embarcada para fraudar os ensaios de certificação, ativando todos os sistemas de controle de emissão de NOx e comprometendo o desempenho para reduzir as emissões do veículo apenas durante o teste.

**A FISCALIZAÇÃO DA FROTA CIRCULANTE**

O Programa I/M – Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – continua sendo necessário para que a inspeção anual induza a sociedade à prática da manutenção preventiva de seus veículos. Como comentado no início deste artigo, esta prática produziu reduções significativas nas violações da qualidade do ar em São Paulo, durante o período áureo em que o Programa I/M-SP operou na cidade.

Entretanto, a modernização tecnológica dos veículos também exige modernização da fiscalização da frota circulante, pois as fraudes são automáticas, fáceis de ocorrer e requerem fiscalização contínua. Felizmente, o desenvolvimento de tecnologias também se presta aos processos de medição e monitoramento das emissões dos veículos: equipamentos de sensoriamento remoto podem ser instalados nas vias públicas e são capazes de medir as emissões instantâneas de poluentes, juntamente com as velocidades, acelerações, potências desenvolvidas pelo veículo e uma fotografia da placa, como se fazem com os radares de velocidade. Um equipamento destes consegue monitorar mais de um milhão de veículos por ano e levantar estatísticas capazes de caracterizar o comportamento tecnológico de cada marca, modelo e ano de fabricação, os quais podem ser comparados aos resultados constantes da certificação de cada um pelo fabricante junto ao órgão ambiental.

Estudos realizados na Europa demonstraram que os veículos a gasolina seguem tipicamente os requisitos legais de acordo com o ano de fabricação, mas os automó-

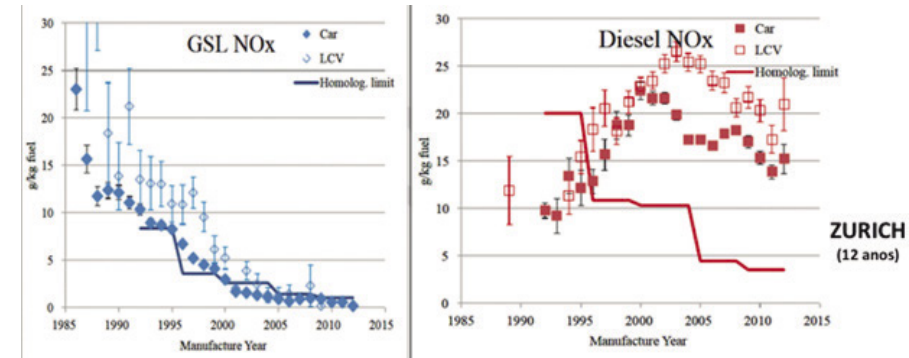


Figura 4 - Estudos realizados na Europa  
Fonte: Chen, Y., & Borken-Kleefeld, J. (2014)

veis a diesel apresentam tendências opostas, como mostram os gráficos da figura 4, o que identificou a fraude do Dieselgate.

Tais medições são questionadas pelos fabricantes por serem realizadas em "condições diferentes" das prescritas pelos procedimentos oficiais de laboratório. Entretanto a constatação de tendências opostas às das exigências legais são inegáveis.

Em complemento, a miniaturização dos equipamentos de teste permite a instalação de medidores de gases a bordo de um veículo para teste em tráfego real e compará-lo às situações simuladas em laboratório e assumidas como equivalentes ao uso normal. Este é um ensaio mais trabalhoso e requerido, exigindo a segregação de um veículo específico para teste, mas permite uma avaliação detalhada dos modelos que destoarem na avaliação estatística por sensoriamento remoto e, com as três abordagens, é possível comparar as situações de teste em laboratório (mais precisa e repetitiva), nas mãos dos usuários (representativas da utilização em massa) e nas condições reais de tráfego

(com maior rigor na medição e sem que o motor possa reconhecer a condição de "estar em teste"), figura 5.

Desta forma, torna-se possível uma avaliação abrangente e capaz de identificar problemas de origem, fragilidades que permitam a prática de fraudes pelos usuários, degradação das emissões com a quilometragem acumulada do veículo e defeitos decorrentes da falta de manutenção. Assim, um programa desta natureza se presta à fiscalização dos fabricantes e a realimentação de informações preciosas para a correção de modelos futuros (ou mesmo ao recolhimento e reparo dos casos mais importantes); à fiscalização da prática de fraudes por parte dos usuários; à identificação de veículos que carecem de manutenção antes mesmo da inspeção anual obrigatória ou ainda à identificação de veículos bem mantidos que podem ser dispensados da inspeção.

Em outubro de 2017, as cidades de Londres e Paris implantaram um Programa desta natureza com a finalidade de levantar um banco de dados para classificar os veículos por marca e modelo e promover a conscientização da população sobre a questão da emissão de poluentes por veículos: trata-se do Programa TRUE (The Real Urban Emission Initiative). O seu primeiro relatório, de junho de 2018, também detectou a prática de fraudes do tipo dieselgate: dependendo da marca, as emissões de NOx dos veículos europeus leves a diesel variam de 2,3 a 15 vezes superiores ao limite legal, demonstrando a ocorrência

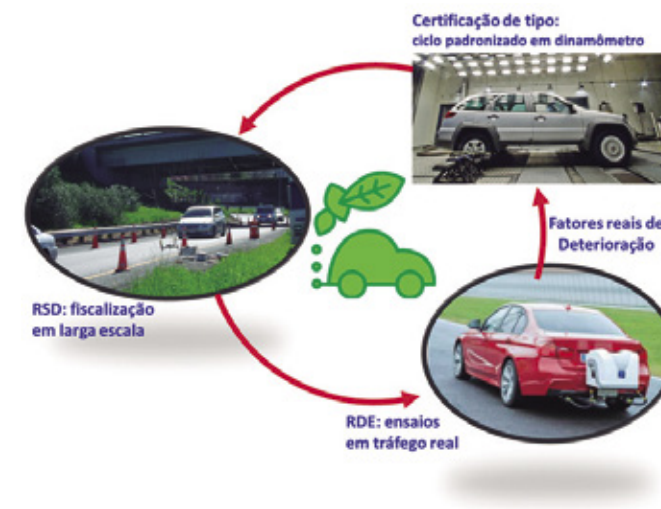


Figura 5 - Situações de teste em laboratório

de fraudes praticadas por todos os 17 grupos de marcas monitoradas.

**CONCLUSÕES**

A redução dos impactos negativos do transporte sobre o meio ambiente, em particular sobre a qualidade do ar dos grandes centros, deve necessariamente partir de um processo de certificação que leve à utilização das melhores tecnologias práticas disponíveis para o controle das emissões, complementado pela verificação dos veículos em uso, garantindo sua correta utilização e manutenção, e o combate a todos os tipos de fraude que possam reduzir a eficácia dos controles implantados.

Se na Europa e nos Estados Unidos existem fraudes como as mencionadas, no Brasil não há razões para duvidar que elas existam: a fraude do ARLA está mais do que constatada e precisa ser combatida. O Programa TRUE é extremamente desejável e o sensoriamento remoto é o método decisivo para viabilizar o monitoramento ambiental da frota circulante. Sua aplicação poderá viabilizar de uma vez por todas a implantação racionalizada, mais justa, equilibrada e mais barata do Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso, imprescindível ao controle da qualidade do ar nos centros urbanos, mas combatido por políticos que não entendem a sua importância para a saúde pública.

Sem estas ferramentas, não será possível reduzir a prática fraudulenta de certificar veículos de um jeito e utilizá-los de outro, com consequências desastrosas para o meio ambiente. 🚫

**\* Gabriel Murgel Branco** é engenheiro mecânico formado pela Poli/USP em 1971, foi um dos idealizadores do Proconve, programa que coordenou por dez anos na Cetesb. Atua como consultor, sócio diretor da EnvironMentality desde 1996  
E-mail: gabriel.tcl@uol.com.br

**\*\* Fabio Cardinale Branco** é geólogo formado pela USP, em 1992, mestre em ciências, doutorando em engenharia pela Poli/USP. Desde 1996 atua como consultor e sócio da EnvironMentality, na área de poluição do ar por veículos  
E-mail: fabio.tcl@uol.com.br

**\*\*\* Marcelo Cardinale Branco** é administrador de empresas, mestre em Ciências pela Poli/USP. Foi Secretário Municipal de Transportes de São Paulo e membro do Comitê de Mudanças Climáticas e do Conselho Municipal do Meio Ambiente (CADES) e coordenador do Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV) de São Paulo  
E-mail: marcelobranco@uol.com.br

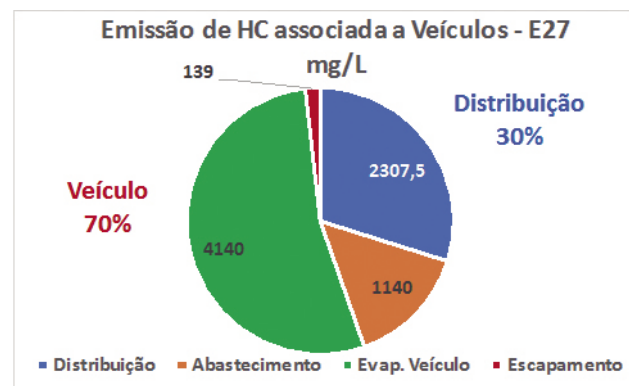


Figura 3 - Emissão de HC associada a veículos – E27