

# **A EVOLUÇÃO DAS EMISSÕES VEICULARES NO ESTADO DE SÃO PAULO: UMA NOVA ABORDAGEM NO PERÍODO DE 2009 A 2012**

Cristiane Dias<sup>1</sup>; Marcelo Pereira Bales<sup>1</sup> e Silmara Regina da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo)

E-mails: [cdias@sp.gov.br](mailto:cdias@sp.gov.br), [mbales@sp.gov.br](mailto:mbales@sp.gov.br), [silmsilva@sp.gov.br](mailto:silmsilva@sp.gov.br)

## **RESUMO**

A CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) adotou, a partir de 2010, a metodologia proposta no 1º. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011) para o cálculo de estimativas de emissões veiculares no Estado de São Paulo e nas Regiões Metropolitanas. Os dados originados do PROCONVE e do PROMOT foram empregados para estimar as emissões da frota circulante, considerando as categorias de automóveis, comerciais leves ciclos Otto e Diesel, motocicletas, ônibus e caminhões. Em 2012, foi lançado o 1º. Relatório “Emissões Veiculares no Estado de São Paulo” da CETESB, com amplo conteúdo e apresentando as estimativas de emissões de poluentes atmosféricos e de alguns Gases de Efeito Estufa (GEE) do ano de 2011. O objetivo deste trabalho é apresentar a evolução das emissões veiculares no período de 2009 a 2012. Os resultados demonstram que apesar do aumento da frota circulante e do consumo de combustível, a emissão de poluentes locais vem se mantendo estável, já que a substituição de veículos mais antigos por novos incorpora as tecnologias de controle atuais que promovem a emissão menor. No caso dos gases do efeito estufa (GEE), os resultados demonstram aumento na emissão, causados principalmente pelo aumento do consumo de gasolina C em substituição ao etanol hidratado.

## **INTRODUÇÃO**

Em 2010 a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) adotou a metodologia apresentada no 1º. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011) [1] para o cálculo das emissões de poluentes regulamentados e Gases de Efeito Estufa de origem veicular. Em 2012 foi lançado o 1º. Relatório “Emissões Veiculares no Estado de São Paulo” da CETESB [2] de acordo com a nova metodologia, apresentando as estimativas de emissões de poluentes atmosféricos e de alguns Gases de Efeito Estufa (GEE) relativos ao ano de 2011.

Em 2013 foi publicada a versão referente ao ano de 2012, mas com dados de emissão retroagindo à 2009, seguindo as mesmas metodologias. Dessa forma, é possível observar a evolução, ainda que em um pequeno intervalo de tempo, dos fenômenos ligados às emissões veiculares.

Esta metodologia permitiu observar a influência dos veículos em circulação, excluindo os veículos com baixa probabilidade de sobrevivência em função da data de fabricação. Utilizamos as curvas de sucateamento fornecidas por estudos do Ministério de Ciência e Tecnologia em 2006 [3], para as seguintes categorias de veículos consideradas: automóveis, comerciais leves, ciclos Otto e Diesel, motocicletas, ônibus e caminhões.

Os valores de vendas anuais de veículos novos, leves e pesados, foram fornecidos pela ANFAVEA [4] (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) para o Estado de São Paulo e a ABRACICLO [5] (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares) disponibilizou os valores correspondentes às motocicletas.

Para o cálculo da frota circulante das Regiões Metropolitanas foi adotada a mesma proporção de sucateamento por categoria do Estado de São Paulo, mas aplicada à frota registrada pelo Detran/SP.

Foram empregadas estimativas de intensidade de uso de referência ou quilometragem anual percorrida por categoria mais próximas da realidade, variando em função da idade do veículo. A partir dos valores de intensidade de uso de referência e do volume de combustíveis consumidos no Estado de São Paulo e nas Regiões Metropolitanas, foi realizado o ajuste da intensidade de uso ou da quilometragem anual percorrida.

A equação 1 é a geral utilizada para o cálculo das emissões de escapamento de uma frota circulante, por poluente e ano modelo de veículo.

$$E = Fr \times lu \times Fe \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

E – taxa anual de emissão do poluente (g/ano);

Fr – frota circulante de veículos, considerando o ano de interesse;

lu – intensidade de uso ou quilometragem anual percorrida pelo veículo (km/ano); e

Fe – fator de emissão do poluente considerado, em g/km.

Existem inúmeras incertezas relacionadas ao cálculo de emissões veiculares, onde se pode destacar: a indisponibilidade de fatores de emissão de veículos em uso, a influência das condições de manutenção dos veículos, a melhoria dos dados de intensidade de uso ou quilometragem anual percorrida, principalmente para os veículos pesados, etc.

## 1. INFORMAÇÕES GERAIS

Os poluentes inventariados foram o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos não-metano (NMHC), incluindo as emissões evaporativas, os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), o material particulado (MP), o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e os aldeídos (RCHO); e também os seguintes gases de efeito estufa (GEE): o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o N<sub>2</sub>O (óxido nitroso). Também foi estimada a emissão de dióxido de carbono equivalente, CO<sub>2eq</sub>, que equipara o potencial de aquecimento global dos GEE pelo conceito do potencial de aquecimento global (GWP). Não foram

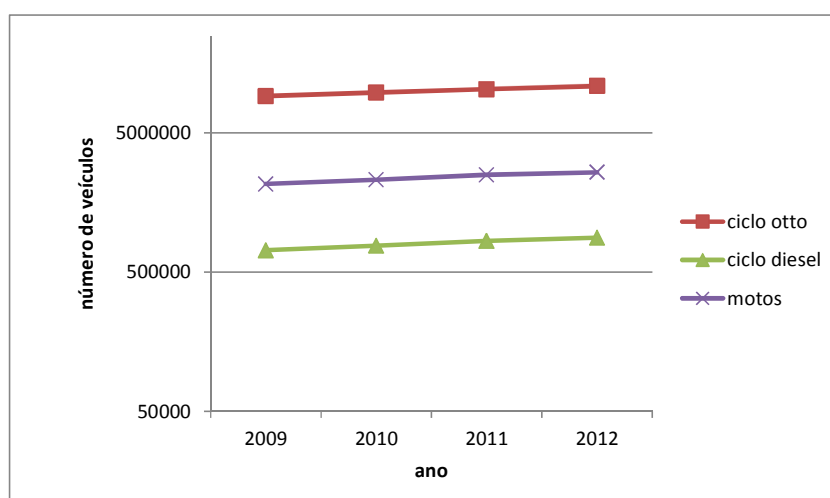
consideradas as emissões de CO<sub>2</sub> oriundas dos combustíveis renováveis, o etanol hidratado, etanol anidro e biodiesel, de acordo com a metodologia de contabilização de GEE adotada na Política Estadual de Mudanças Climáticas do Estado, que segue a recomendação do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) [6].

Para a maioria dos poluentes, as emissões veiculares foram estimadas utilizando a abordagem “bottom-up”, na qual se considera a distância anual percorrida pelo veículo e dados específicos para o cálculo das emissões. Com exceção do CO<sub>2</sub> e do SO<sub>2</sub>, para todas as categorias, e CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, para o ciclo Diesel, onde foi empregada a abordagem “top-down”, devido à ausência de fatores de emissão específicos.

## 2. FROTA CIRCULANTE

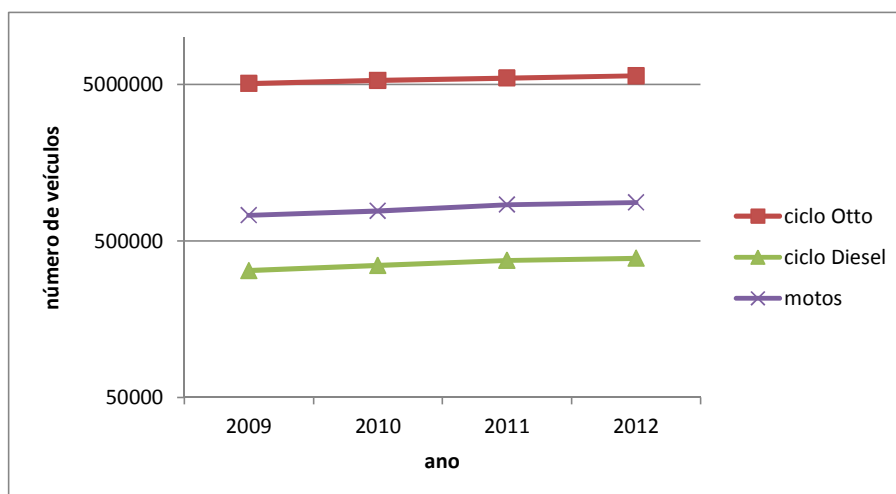
A frota circulante do Estado de São Paulo, para o período de 2009 a 2012, obtida de acordo com os critérios da nova metodologia é apresentada na figura 1. O número de automóveis do ciclo Otto é muito superior ao número de veículos do ciclo Diesel e de motocicletas. Entretanto, o crescimento da frota de veículos do ciclo Otto foi de 12% de 2009 a 2012, enquanto as frotas circulantes do ciclo Diesel e de motocicletas apresentaram crescimentos de 17% e 16%, respectivamente.

Figura 1. Estimativas da frota circulante no Estado de São Paulo, de 2009 a 2012



Na figura 2, considerando a Região Metropolitana de São Paulo, pode-se observar que o perfil das frotas circulantes dos automóveis ciclos Otto, Diesel e das motocicletas é semelhante ao perfil de frota encontrado para o Estado de São Paulo. O crescimento da frota de automóveis do ciclo Otto foi de 12% de 2009 a 2012, enquanto as frotas circulantes do ciclo Diesel e de motocicletas apresentaram crescimentos de 20% e 21%, respectivamente.

Figura 2. Estimativas da frota circulante na Região Metropolitana de São Paulo, de 2009 a 2012



### 3. CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

As emissões veiculares variam principalmente em função da frota circulante e do volume de combustível (Gasolina C, Etanol Hidratado e Diesel), uma vez que a intensidade de uso é ajustada pelo total de combustível consumido.

Para o cálculo das estimativas das emissões veiculares, foram utilizados os dados de consumo rodoviário de combustíveis fornecidos pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) [7] e mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Consumo de combustíveis de uso rodoviário no Estado de São Paulo

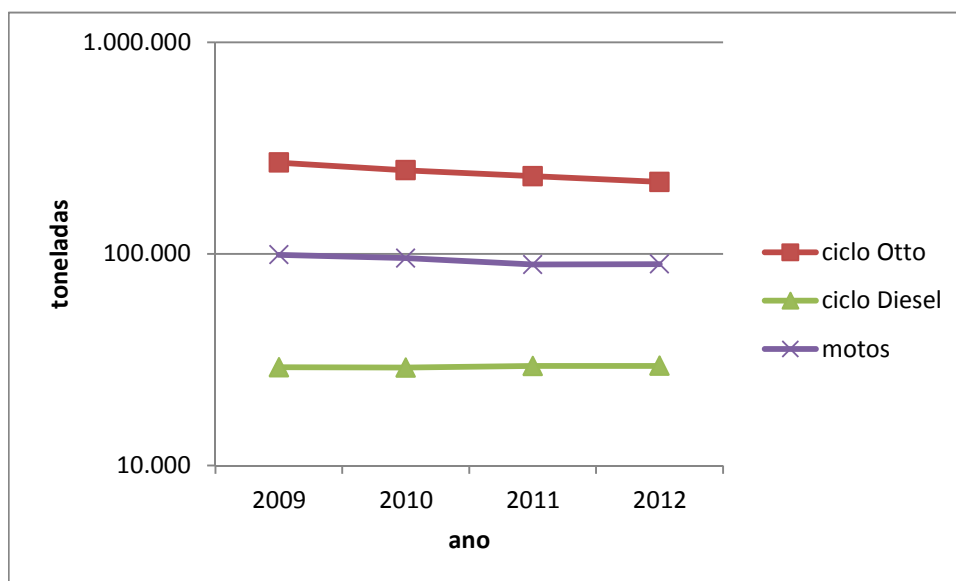
Combustível	Consumo anual em bilhões de litros			
	2009	2010	2011	2012
Gasolina C	6,7	7,4	9,5	10,3
Etanol Hidratado	8,6	8,4	6,5	5,8
Óleo Diesel	7,1	7,4	7,8	8,22

Fonte: Adaptado ANP

### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

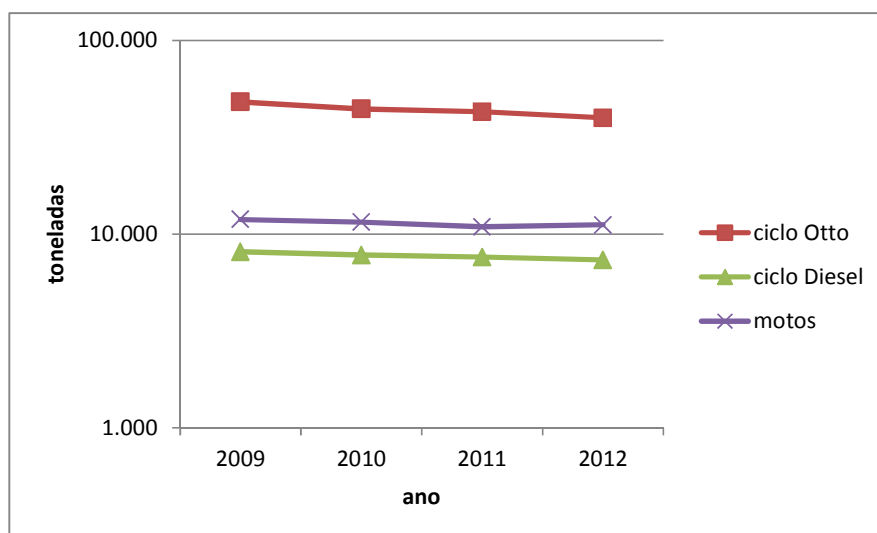
A figura 3 indica a evolução do total das emissões de CO no Estado de São Paulo, em toneladas, de 2009 a 2012. Os veículos automotores do ciclo Otto são responsáveis pela maior parcela das emissões de CO e apresentaram uma redução de 19% nas emissões. As motocicletas apresentaram uma redução de 10% e os veículos do ciclo Diesel tiveram o aumento de apenas 2% na emissão de monóxido de carbono nesse período.

Figura 3. Evolução do Total das emissões de monóxido de carbono, em toneladas, no Estado de São Paulo de 2009 a 2012



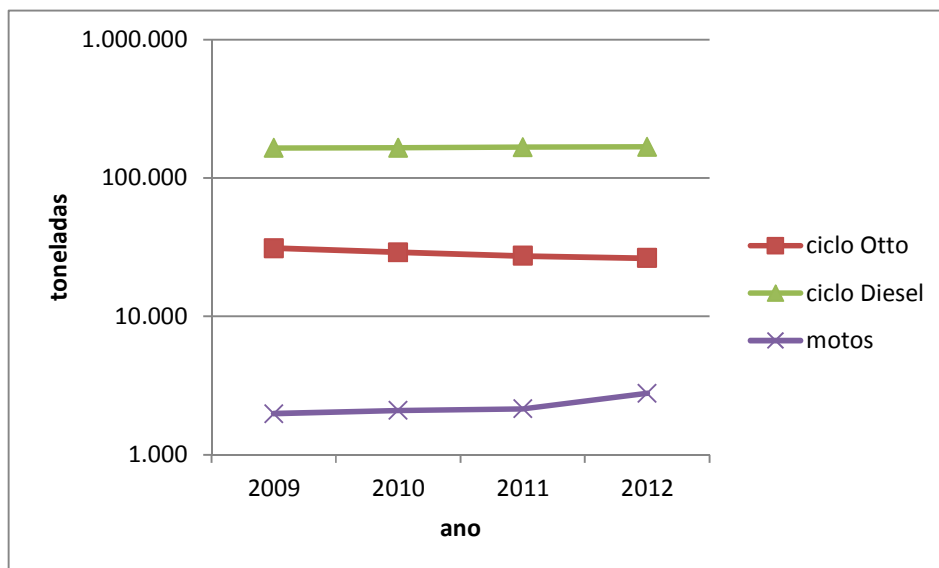
A figura 4 mostra a evolução das emissões de hidrocarbonetos não-metano (NMHC), incluindo as emissões evaporativas para automóveis e comerciais leves do ciclo Otto. Houve redução de 17% nas emissões de NMHC do ciclo Otto e a redução de 9% nas emissões de NMHC dos veículos do ciclo Diesel. As motocicletas indicaram a redução de 6% em suas emissões.

Figura 4. Evolução do Total das emissões de hidrocarbonetos não-metano em toneladas, no Estado de São Paulo de 2009 a 2012



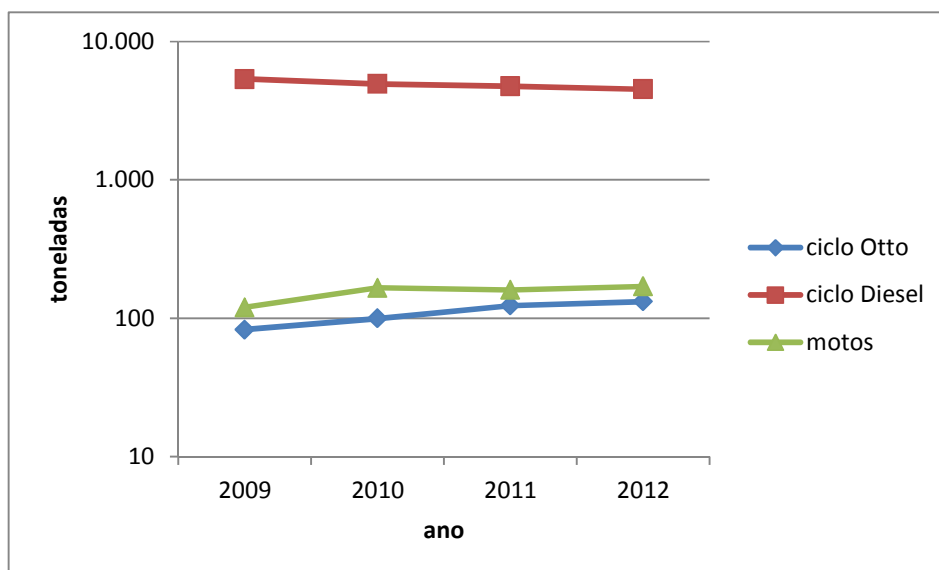
Como indica a figura 5, os veículos do ciclo Diesel são os maiores responsáveis pelas emissões de  $\text{NO}_x$ , com o aumento de apenas 2% em suas emissões. Para os veículos do ciclo Otto, houve a redução de 15% nas emissões, de 2009 a 2012. As motocicletas apresentaram um aumento de 40% das suas emissões de  $\text{NO}_x$ .

Figura 5. Evolução do Total das emissões de óxidos de nitrogênio em toneladas, no Estado de São Paulo de 2009 a 2012



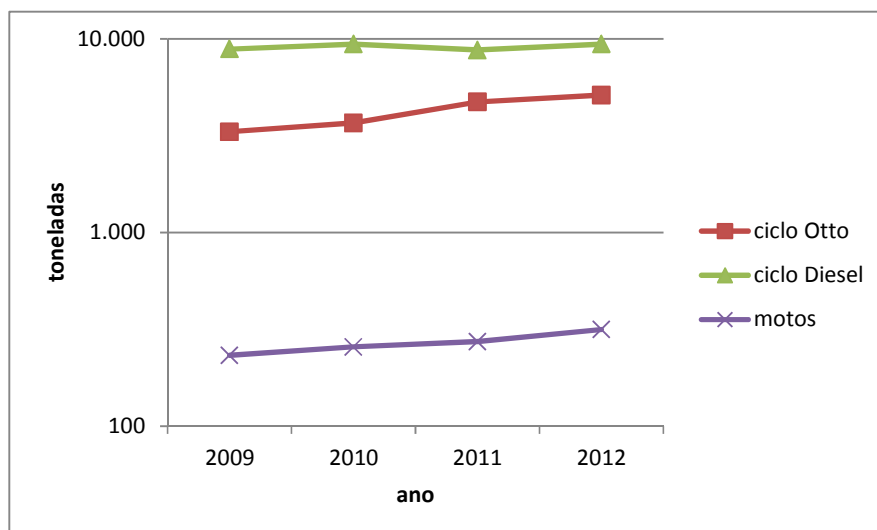
A figura 6 aponta que os veículos do ciclo Diesel também são os maiores responsáveis pelas emissões de material particulado no Estado, mas pode-se observar a redução de 15% nas emissões. Para os veículos do ciclo Otto, houve o aumento de 59%, de 2009 a 2012. As motocicletas apresentaram um aumento de 41% das suas emissões no período.

Figura 6. Evolução do Total das emissões de material particulado, em toneladas, no Estado de São Paulo de 2009 a 2012



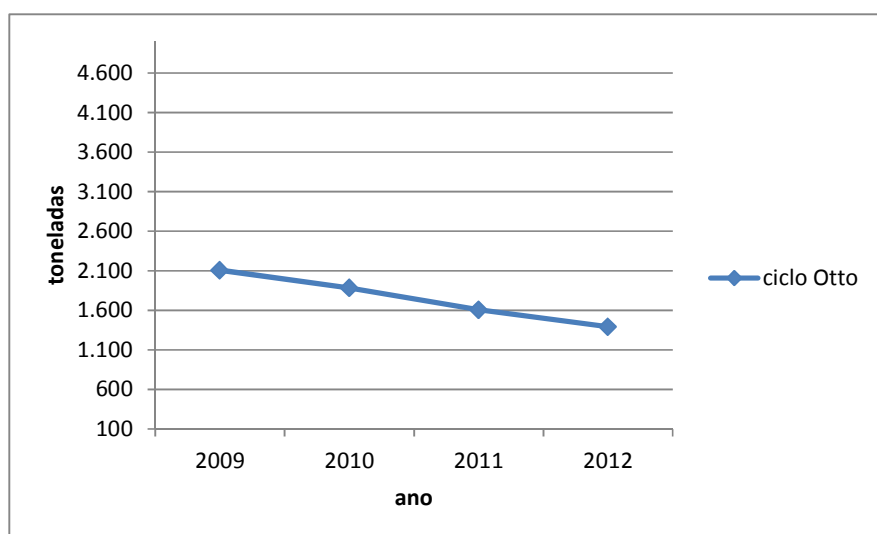
A figura 7 ilustra as emissões totais de SO<sub>2</sub> dos veículos do ciclo Diesel, Otto e das motocicletas. Para o ciclo Diesel, observamos aumento de 6% nas emissões de SO<sub>2</sub>. Para o ciclo Otto houve aumento de 55% nas emissões, de 2009 a 2012. As motocicletas apresentaram aumento de 36% das emissões neste período. Deve-se ressaltar que as emissões de SO<sub>2</sub> foram obtidas pela abordagem “top-down”, que estão totalmente relacionadas com o enxofre contido nos combustíveis fósseis.

Figura 7. Evolução do total das emissões de dióxido de enxofre em toneladas, no Estado de São Paulo de 2009 a 2012



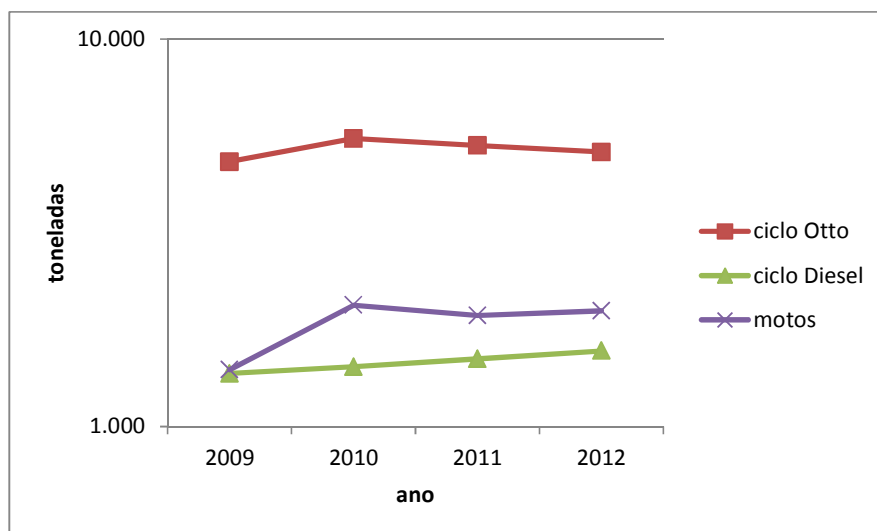
As emissões de aldeídos no Estado de São Paulo estão indicadas na figura 8, para veículos do ciclo Otto. Houve a redução de 34% nas emissões dos aldeídos totais de 2009 a 2012.

Figura 8. Evolução das emissões de aldeídos totais, em toneladas, no Estado de São Paulo de 2009 a 2012



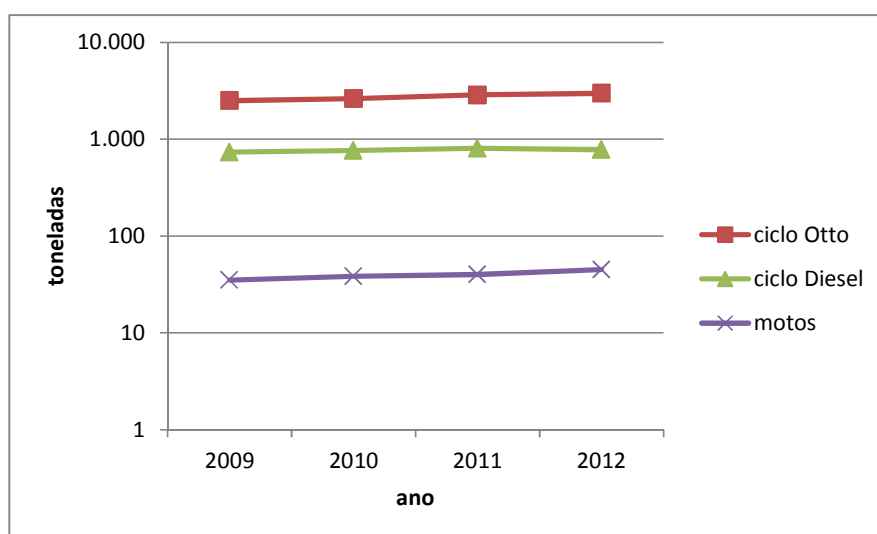
As emissões de  $\text{CH}_4$  para o Estado de São Paulo são apresentadas na figura 9. Para os veículos do cicloOtto, a abordagem usada para o cálculo das emissões foi a “bottom-up”. Para os veículos do cicloDiesel e motocicletas, a abordagem foi a “top-down”. Foram utilizados os fatores de emissão recomendados pelo IPCC. Houve aumento de 6% nas emissões totais de  $\text{CH}_4$  para os veículos do cicloOtto e o aumento de 14% para o cicloDiesel. As motocicletastiveram aumento de 42% nas emissões de  $\text{CH}_4$  no Estado de São Paulo, de 2009 a 2012.

Figura 9. Evolução do total das emissões de metano em toneladas, no Estado de São Paulo de 2009 a 2012



De acordo com a figura 10, as emissões totais de  $\text{N}_2\text{O}$  no Estado de São Paulo aumentaram em 19% de 2009 a 2012 para os veículos do cicloOtto. Houve também um aumento de 6% para os veículos do cicloDiesel e 28% para as motocicletas.

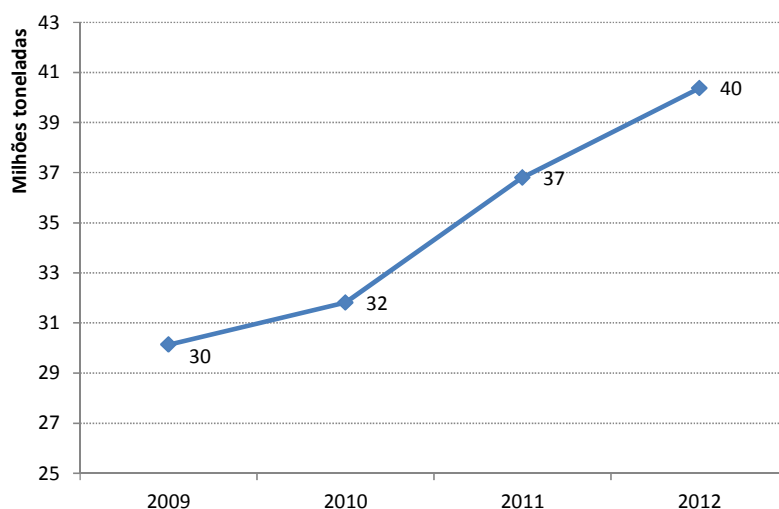
Figura 10. Evolução do total das emissões de óxido nitroso, em toneladas, no Estado de São Paulo de 2009 a 2012





As emissões de  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  foram obtidas utilizando o conceito de Potencial de Aquecimento Global (GWP), para os gases  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$  e para um horizonte de 100 anos [8]. Houve aumento de 33% nas emissões de  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  no Estado de São Paulo, de 2009 a 2012, como apontado na figura 11. Essa evolução é motivada pelo aumento da frota circulante, pelo aumento no consumo de combustível e principalmente pela redução do consumo de etanol hidratado, substituído pelo consumo de gasolinaC nos veículos flex-fuel.

Figura 11. Evolução do total das emissões de dióxido de carbono equivalente, em toneladas, no Estado de São Paulo de 2009 a 2012



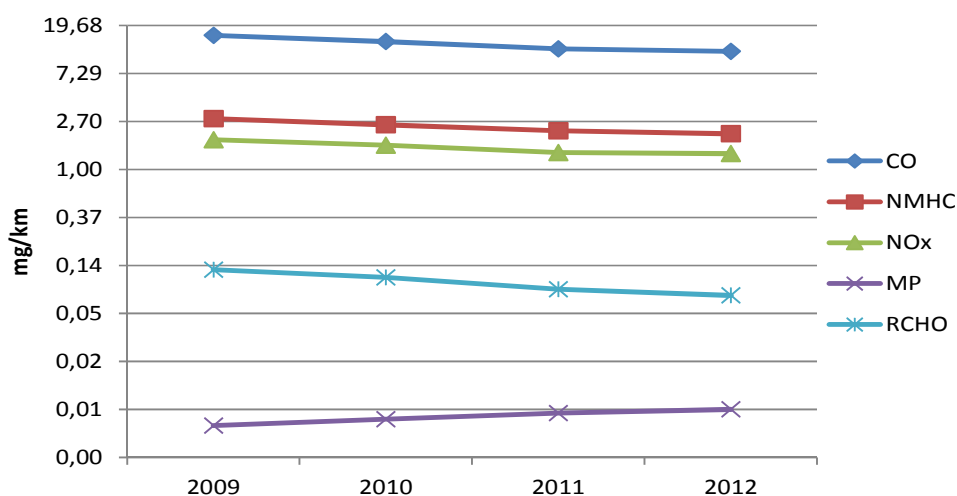
## 5. INDICADORES

Os resultados demonstrados permitem a definição de alguns indicadores que demonstram a evolução dos parâmetros de controle das emissões, da frota circulante e das questões correlatas.

### 5.1. INDICADOR TECNOLÓGICO

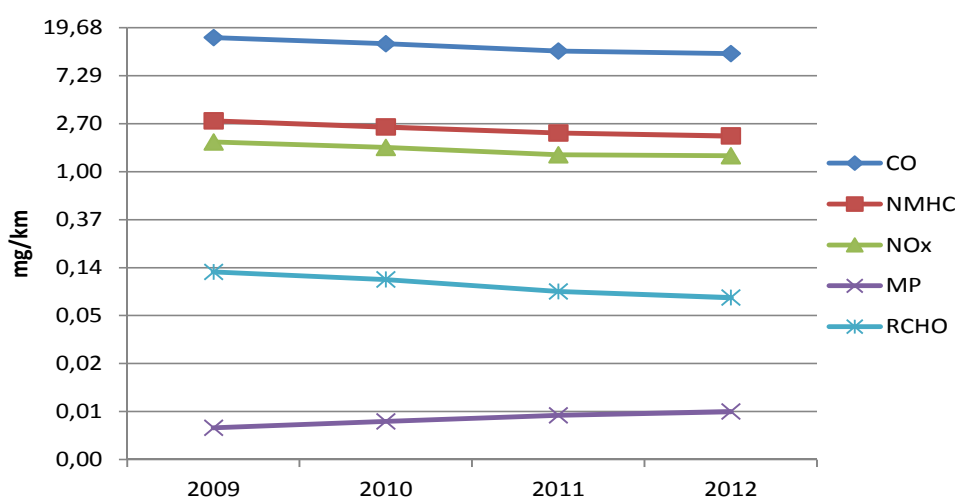
Esse indicador aponta para a evolução tecnológica da frota circulante, incorpora a renovação da mesma e aponta seu impacto nas emissões. A Figura 12 indica o comportamento do indicador tecnológico das emissões ao longo dos anos, para veículos leves e comerciais leves do ciclo Otto. Percebe-se que há um leve declínio nas emissões, exceto para MP.

Figura 12 - Evolução do indicador tecnológico dos automóveis e comerciais leves do ciclo Otto no Estado de São Paulo



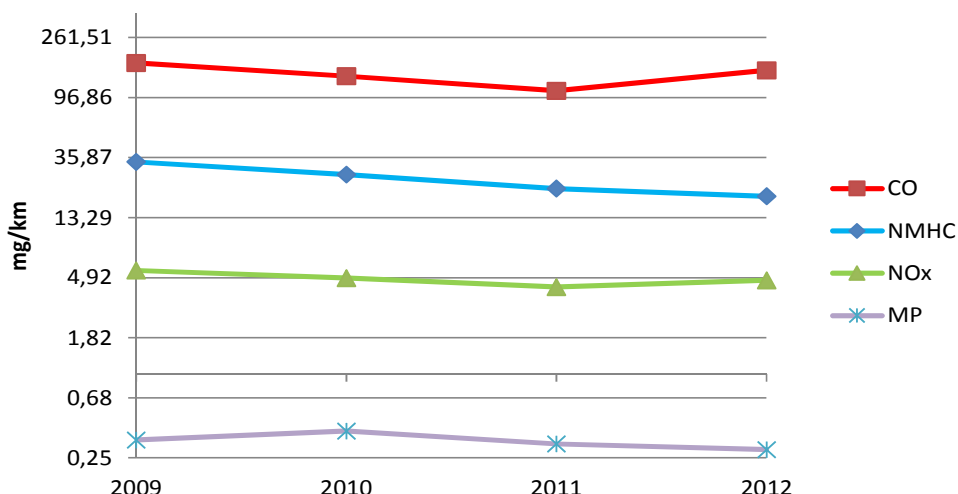
A Figura 13 mostra a evolução deste indicador no período de 2009 a 2012 para os comerciais leves e pesados do ciclo Diesel. A tendência de redução da emissão da frota circulante é bastante tênue. Provavelmente por causa da evolução mais lenta das fases do PROCONVE. Vale destacar que a Fase P6 de 2009 nem sequer foi implementada, tornando a Fase P5 mais longa, desde 2003 até a introdução da Fase P7 em 2012. Além disso, parte desta frota, no caso de caminhões, apresenta uma renovação natural mais lenta.

Figura 13 - Evolução do indicador tecnológico dos veículos comerciais leves e pesados do ciclo Diesel no Estado de São Paulo



A Figura 14 mostra a evolução deste indicador no período de 2009 a 2012 para as motocicletas. A evolução da emissão é variável, crescente para alguns poluentes e decrescente para outros. Nesse período apresentado não houve mudanças tecnológicas com impacto significativo nas emissões dos motocicletas.

Figura 14 - Evolução do indicador tecnológico das motocicletas no Estado de São Paulo



## CONCLUSÃO

Os resultados das estimativas das emissões veiculares no Estado de São Paulo indicam que os veículos do cicloOtto, leves seguidos pelas motos, têm maior influência nas emissões de CO e NMHC, devido às características do motor e do número de veículos presentes na frota circulante do Estado de São Paulo e na Região Metropolitana de São Paulo. Mas os indicadores mostram uma tendência na redução da emissão desses poluentes nos segmentos mais emissores e a manutenção da emissão no segmento Diesel, apontando uma redução global nas emissões.

Os veículos do cicloDiesel apresentam maior influência nas emissões de NO<sub>x</sub>. A curva de tendência não demonstra variação, embora se espere uma queda com a entrada dos veículos da fase P7 (pesados) do PROCONVE a partir de 2012 e a saída dos mais antigos, em um processo natural de renovação da frota circulante. No segmento Otto há uma pequena tendência de queda nas emissões.

Para o poluente MP também o segmento Diesel se mostra mais impactante e a tendência de queda se dará da mesma forma que para o NO<sub>x</sub>, com a renovação gradual da frota.

Os veículos Diesel ainda são os maiores emissores de SO<sub>2</sub>, mas seguidos de perto pelos veículos Otto. Como a emissão desse poluente está diretamente ligada ao teor de enxofre nos combustíveis, os processos de redução do teor de enxofre em curso é que levarão à redução das emissões, tanto para o Diesel quanto para a gasolina.

As emissões de aldeídos totais foram determinadas apenas para os veículos do ciclo Otto, pois ainda não há controle estabelecido para os veículos Diesel. A queda das emissões deste poluente pode ser atribuída à redução do uso de etanol hidratado, de 2009 a 2012.

De modo geral, as motocicletas apresentaram um aumento nas emissões de poluentes, devido ao crescimento da frota.

O aumento das emissões de dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ) pode ser atribuído ao aumento do consumo de combustíveis fósseis (Gasolina C e Diesel) de 2009 a 2012.

Os indicadores tecnológicos mostram que a evolução das características da frota circulante é muito sutil, devido a lenta renovação. Para que os ganhos advindos dos padrões de emissão mais recentes se mostrem significativos, podem ser necessárias políticas mais incisivas de renovação, em especial com a retirada dos veículos mais antigos de circulação.

## REFERÊNCIAS

- [1] Ministério do Meio Ambiente. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários – Relatório Final, Brasília, 2011.
- [2] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo, São Paulo, 2011.
- [3] Ministério da Ciência e Tecnologia. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatório de Referência: Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor Energético por Fontes Móveis, 2006.
- [4] Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. Edição 2012. Disponível em <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>> Acesso em 20/01/2012.
- [5] Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares – ABRACICLO. Anuário da Indústria Brasileira de Motociclos – 2012. Disponível em <<http://www.abraciclo.com.br>> Acesso em 16/03/2012.
- [6] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: GES, Japan, 2006.
- [7] Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, Dados Estatísticos. Disponível em <<http://www.anp.gov.br>> Acesso em 01/04/2013.
- [8] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. 1º. Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo - Comunicação Estadual, São Paulo, 2011.