

ESCOLA POLITÉCNICA –USP

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA

MBA/USP – GESTÃO E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

INVENTÁRIO DE FONTES MÓVEIS: NOVAS CONFIGURAÇÕES DE FROTA PARA AS
ESTIMATIVAS DAS EMISSÕES VEICULARES EM REGIÕES METROPOLITANAS DO
ESTADO DE SÃO PAULO

CRISTIANE DIAS

2017

RESUMO

Atualmente, os inventários de fontes de poluição atmosférica têm destacado a importância das fontes móveis nas emissões de poluentes regulamentados e de gases de efeito estufa, nas áreas urbanas e em suas regiões metropolitanas. Este estudo apresenta as emissões veiculares na Macrometrópole Paulista, na região metropolitana de São Paulo e de Campinas, considerando o ano de 2015. Foram indicadas as estimativas com as frotas circulantes totais e com novas configurações de frota, tais como: com a troca de caminhões de mais de 30 e 20 anos por veículos novos, com a troca de ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos por veículos novos e a troca de automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos, por exemplo. Os poluentes considerados foram o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio (NO_x), o material particulado (MP), os hidrocarbonetos não metano (NMHC), onde se observa as emissões de escapamento (NMHC escap), as evaporativas (NMHC evap) e as emissões de abastecimento (NMHC abast). Assim também foram estimadas as emissões de aldeídos totais (RCHO – formaldeído e acetaldeído), que somadas aos hidrocarbonetos não metano (NMHC totais) resultam nas emissões de compostos orgânicos voláteis (COVs). Para os veículos pesados, os resultados indicaram que com a troca de caminhões com mais de 20 anos, pode-se reduzir cerca de 7.909 toneladas de NO_x na Macrometrópole Paulista, 4.235 toneladas de NO_x na região metropolitana de São Paulo e 985 toneladas de NO_x na região metropolitana de Campinas. E para os veículos leves, com a troca de automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos, pode-se reduzir cerca de 17.462 toneladas de CO e 3.599 toneladas de COVs na Macrometrópole Paulista. Deste modo, pode-se obter a redução de 9.230 toneladas de CO e 1.963 toneladas de COVs na região metropolitana de São Paulo, e na região metropolitana de Campinas pode-se reduzir as emissões veiculares em 1.622 toneladas de CO e 342 toneladas de COVs

AGRADECIMENTOS

À Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) pelo apoio e a todos que colaboraram diretamente na execução deste estudo.

GLOSSÁRIO

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ABRACICLO - Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares

BEESP - Balanço Energético do Estado de São Paulo

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CO - Monóxido de Carbono

COVs - compostos orgânicos voláteis, incluem os hidrocarbonetos não metano e os aldeídos totais

Curva de Sucateamento - Função desenvolvida a partir de um modelo estatístico que aplicada à frota de veículos novos permite estimar a frota circulante, retirando parte dos veículos que saíram de circulação em função de sucateamento causado por acidentes com perda total, furtos sem recuperação, desmonte, abandono, etc.

Etanol anidro - combustível renovável com teor de água próximo de zero que é misturado à gasolina A para formar a gasolina C.

Etanol hidratado - combustível renovável com teor de água próximo de 5% em volume, utilizado diretamente nos veículos movidos a etanol ou nos veículos *flex*.

Fator de Emissão - Massa de poluente emitida pelos veículos ao circular por uma determinada distância. A unidade usual é gramas por quilômetro (g/km). É determinado em laboratório de emissão veicular e publicado anualmente pela CETESB.

Frota Circulante - Conjunto de veículos que se estima estarem circulando, independente de constar nos registros do órgão de trânsito. É calculada a partir das vendas de veículos novos nos últimos 40 anos e submetida às curvas de sucateamento.

Gasolina A - combustível fóssil, é denominada de gasolina pura que não contém etanol em sua composição. Não é vendida nos postos de abastecimento.

Gasolina C - Gasolina comercial vendida nos postos de combustíveis. Possui em sua composição etanol anidro, em percentual definido em legislação que varia de 18% a 27% em volume, conforme a época.

Intensidade de Uso - É distância percorrida pelo veículo ao longo de um período de tempo (km/ano).

Metodologia Top-Down - Metodologia para se estimar emissão de poluentes a partir do consumo aparente de combustível da área geográfica em questão. Nesse caso, utilizam-se os fatores de emissão do combustível, não do veículo.

Metodologia Bottom-up - Metodologia para se estimar emissão de poluentes a partir da frota, da distância percorrida e dos fatores de emissão dos veículos.

MP -material particulado

MP_{2,5} - Material particulado com até 2,5 µm de diâmetro aerodinâmico
(partículas inaláveis finas)

MP₁₀ - Material particulado com até 10 µm de diâmetro aerodinâmico
(partículas inaláveis)

NMHC - Hidrocarbonetos não Metano

NMHC abast - Hidrocarbonetos não Metano provenientes do abastecimento veicular

NMHC escap - Hidrocarbonetos não Metano provenientes do escapamento dos veículos

NMHC evap -Hidrocarbonetos não Metano provenientes de emissões evaporativas

NMHC total - hidrocarbonetos não metano, incluindo as emissões de escapamento, evaporativas e de abastecimento veicular

NO_x - óxidos de nitrogênio

O₃ - ozônio

PROCONVE - Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores

PROMOT - Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares

RCHO - aldeídos totais (formaldeído e acetaldeído)

RMSP -Região Metropolitana de São Paulo

RMC - Região Metropolitana de Campinas

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVO	5
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1.	O PROCONVE/PROMOT (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores)	17
4.	DESENVOLVIMENTO	20
4.1.	Metodologia	22
4.1.1.	Determinação da Porcentagem de Veículos flex fuel usando etanol hidratado ou gasolina comum	26
4.1.2.	Cálculo do consumo estimado	27
4.1.3.	Intensidade de Uso de Referência / Intensidade de Uso Ajustada	27
4.2.	Emissões de Abastecimento	28
4.3.	Emissões Evaporativas	29
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1.	Configuração (a): Renovação de frota, com a troca dos caminhões com mais de 30 anos	42
5.2.	Configuração (b): Renovação de frota, com a troca dos caminhões com mais de 20 anos	47
5.3.	Configuração (c): Renovação de frota, com a troca dos ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos	53
5.4.	Configuração (d): Renovação de frota, com a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos	58
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1. INTRODUÇÃO

Em escala global, a qualidade do ar nas cidades e regiões metropolitanas tem chamado a atenção da população e dos órgãos governamentais devido ao lançamento de poluentes com alta toxicidade na atmosfera, que geralmente têm origem em atividades antrópicas, como nas atividades industriais e nos meios de transporte.

A figura 1 apresenta a diminuição da expectativa de vida da população europeia no ano 2000 (à esquerda) causada pela exposição ao material particulado fino ($PM_{2,5}$) e o cenário proposto para o ano de 2020 (à direita), após a implantação de ações e programas para a mitigação das emissões de poluentes atmosféricos.

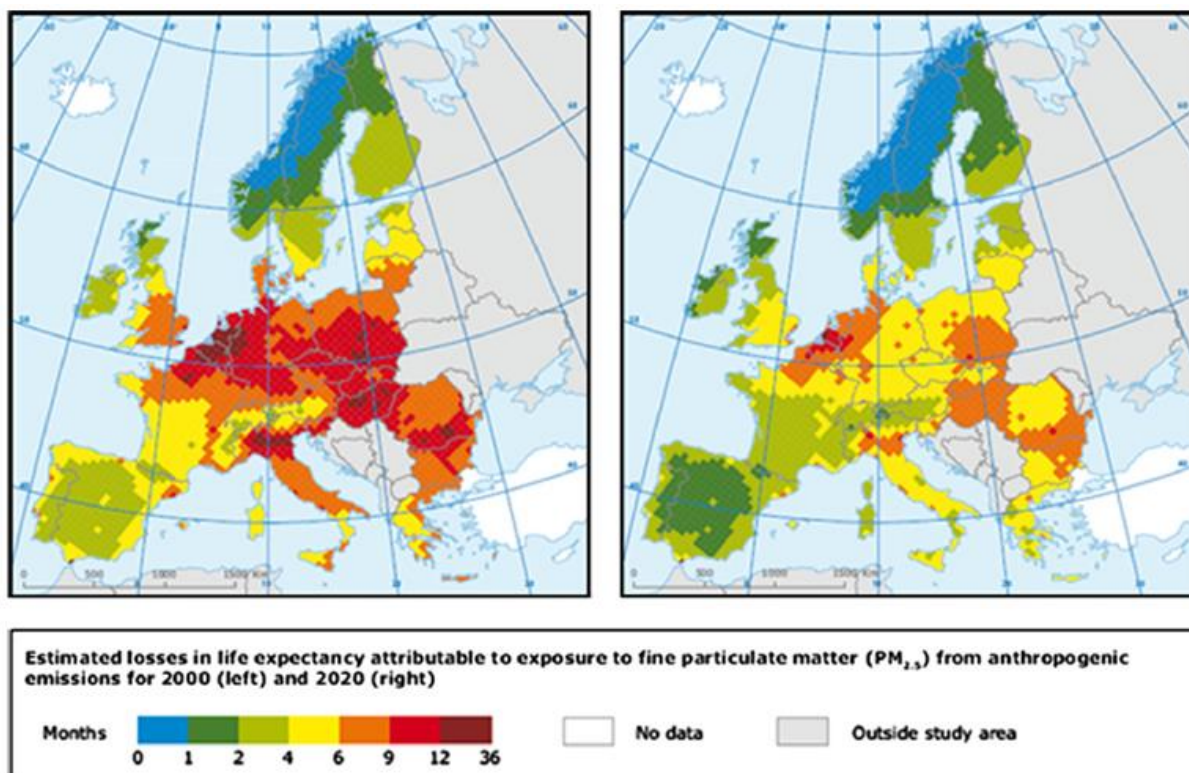


Figura 1. Diminuição da expectativa de vida no continente europeu, no ano 2000 (à esquerda) devido à exposição ao poluente material particulado fino ($PM_{2,5}$) de emissões antropogênicas e cenário possível em 2020.

Fonte: Monks, P. S. et al (2009)

Assim pode-se destacar o material particulado com um dos poluentes causadores de graves efeitos adversos à saúde, quando a população é intensivamente

exposta. É fundamental caracterizar as fontes de poluição existentes nas áreas urbanas para a elaboração de políticas públicas eficazes.

Os inventários de fontes de poluição atmosférica pretendem identificar e quantificar as emissões de poluentes atmosféricos presentes em uma determinada área ou região, em um determinado período de tempo. Diversas são as fontes de poluição que devem ser estudadas na elaboração de um inventário de fontes, dentre elas pode-se destacar:

1. Fontes pontuais, como as instalações industriais;
2. Fontes área: fontes de poluição restritas a determinadas áreas, como pequenos empreendimentos, armazenamento de combustíveis, etc;
3. Fontes móveis rodoviárias, ou os veículos (automóveis, comerciais leves ciclo Otto e Diesel, motocicletas, ônibus e caminhões, em suas diversas sub-categorias);
4. Fontes móveis não rodoviárias, como equipamentos de construção, de corte de grama, da área rural, etc; e
5. Fontes biogênicas, como as emissões de hidrocarbonetos por organismos vivos, provenientes de florestas, por exemplo.

Os inventários de fontes de poluição atmosférica fornecem dados para os estudos de monitoramento da qualidade do ar porque a qualidade do ar é diretamente influenciada pela distribuição e intensidade das emissões de poluentes atmosféricos de origem veicular e industrial (CETESB, 2015).

Atualmente, muitos estudos são publicados ao redor do mundo, com enfoque nas fontes móveis. O desenvolvimento econômico e o crescimento da frota veicular de algumas regiões dos Estados Unidos ou da China, por exemplo, têm despertado o interesse de diversos grupos de pesquisa e de órgãos governamentais para o desenvolvimento de políticas públicas que possam resultar na melhoria da qualidade do ar das grandes cidades e regiões metropolitanas.

No Reino Unido, existe um plano governamental para a proibição da venda de automóveis novos e comerciais leves que usam diesel e gasolina como combustíveis a partir de 2040, com o propósito de melhorar a qualidade do ar das cidades. Como a tecnologia de carros elétricos e híbridos está sendo aperfeiçoada, os governos estão definindo suas metas de investimentos de longo prazo em novas tecnologias veiculares e infraestrutura, por exemplo. O governo britânico pretende disponibilizar US\$ 326 milhões para combater a poluição veicular. O programa exigirá um investimento significativo em redes de postos de recargas de veículos elétricos (SÃO PAULO, 2017)

Dentre as regiões metropolitanas e aglomerações urbanas do estado de São Paulo, a região metropolitana de São Paulo (RMSP) apresenta um alto potencial de formação de ozônio, dado que há grande emissão de seus precursores, principalmente de origem veicular, porém sua ocorrência em maior ou menor frequência está relacionada às variações das condições meteorológicas, uma vez que as variações quantitativas nas emissões de seus precursores são pequenas de ano a ano. Pode-se acrescentar que em função das complexas interações químicas e meteorológicas envolvidas nas reações atmosféricas de formação e transporte do ozônio, não é possível observar uma tendência na concentração deste poluente ao longo dos anos (CETESB, 2015 e 2016a).

Com o objetivo de reduzir as emissões de poluentes veiculares e em se tratando de programas de renovação de frota, a Desenvolve SP, a Agência de Desenvolvimento do Governo do Estado de São Paulo, publicou o Programa de Incentivo à Renovação de Frota de Caminhões (SÃO PAULO, 2013). Este programa visa à troca de caminhões com mais de 30 anos por veículos novos, com ganhos ambientais e redução dos acidentes envolvendo estes veículos. Com subsídios governamentais, os veículos antigos precisam ser entregues à reciclagem.

Ainda considerando o estado de São Paulo, a lei nº 15.831 de 15 de junho de 2015 (SÃO PAULO, 2015) disciplina nos contratos de concessão a idade média da

frota de ônibus, miniônibus e micro-ônibus que operam no Sistema de Transporte Coletivo Urbano de Caráter Metropolitano; estabelecendo o parâmetro de 4 a 6 anos para a idade média dos veículos.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é apresentar as emissões veiculares estimadas para as maiores regiões metropolitanas do estado de São Paulo, no ano de 2015, com a inclusão de novas configurações, como a substituição de veículos mais antigos (como caminhões com mais de 20 e 30 anos, e ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos) por veículos novos e com novas tecnologias de controle de emissões; assim como a eliminação de automóveis com mais de 30 anos de uso, trocados por veículos elétricos, por exemplo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nopmongkol, U. et al (2017) estudaram os impactos ambientais da eletrificação de veículos e máquinas agrícolas até 2030 nos Estados Unidos; usando inventários de emissões atmosféricas e estudos de modelagem da qualidade do ar, com a metodologia "U. S. Environmental Protection Agency (USEPA)", a agência ambiental americana. Os benefícios da eletrificação são modestos, para ozônio foi estimada a redução de pelo menos 1 ppb e para material particulado fino ($MP_{2,5}$) pode ser estimada a redução de $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. As maiores reduções devidas à eletrificação foram nas emissões de ozônio e material particulado nas áreas urbanas de tráfego veicular intenso. O estudo adotou que 40% da frota veicular americana será constituída de veículos híbridos-elétricos plug-in até 2030; reduzindo portanto a exposição humana a ozônio e material particulado em diversas regiões.

Vedrenne, M. et al (2016) afirmaram que inventários de emissões atmosféricas fornecem uma descrição das atividades poluidoras em uma dada região e são intensivamente empregados em modelagem da qualidade do ar, assim como para auxiliar na elaboração de políticas públicas e legislação ambiental. Para tanto, os dados devem ser provenientes de bases confiáveis e representativas, de acordo com a escala que pode ser local, regional ou nacional. Deste modo, uma abordagem top-down pode ser escolhida, caso não existam dados disponíveis para a escolha de uma abordagem bottom-up. Foram analisados os inventários disponíveis na região de Madri na Espanha, nos níveis nacional e regional. A comunidade autônoma de Madri ocupa a área de 8.020 km^2 com a população de 6 milhões de pessoas, sendo que 4 milhões são habitantes da cidade de Madri. Foram apresentados resultados para os seguintes poluentes: SO_2 , NO_x , $MP_{2,5}$ e MP_{10} em toneladas anuais. A contribuição veicular deve-se principalmente às emissões de NO_x (veículos pesados) e material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}). As emissões de SO_2 foram atribuídas principalmente às fontes fixas.

Dias, C. et al (2016) apresentaram e discutiram as estimativas de emissões veiculares totalizadas para as regiões metropolitanas do estado de São Paulo, utilizando a metodologia indicada nos relatórios da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). O período em estudo é de 2006 a 2014. Os resultados, indicados nas figuras de 2 a 5, demonstram as variações entre as emissões de poluentes veiculares nas regiões metropolitanas de São Paulo (RMSP), Campinas (RMC), Baixada Santista (RMBS), Sorocaba (RMSO) e Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVP). As estimativas de emissões veiculares publicadas incluíram os seguintes poluentes: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos não metano (NMHC) e os aldeídos totais (RCHO), indicados como compostos orgânicos voláteis (COVs) e material particulado (MP). Além dos seguintes gases de efeito estufa de origem veicular: o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o dióxido de carbono (CO_2); apresentados na forma de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$). De modo geral, pode-se observar a redução das emissões dos poluentes regulamentados em todas as regiões metropolitanas estudadas: a região metropolitana de São Paulo (RMSP), região metropolitana de Campinas (RMC), região metropolitana de Sorocaba (RMSO), região metropolitana da Baixada Santista (RMBS) e região metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVP), no período observado de 2006 a 2014. Estes resultados podem ser claramente atribuídos às ações e programas do PROCONVE/PROMOT (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores).

Houve o aumento das emissões de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$) que pode ser atribuído ao aumento do consumo de combustíveis fósseis (gasolina comum e óleo diesel) e à variação do consumo de etanol hidratado no período.

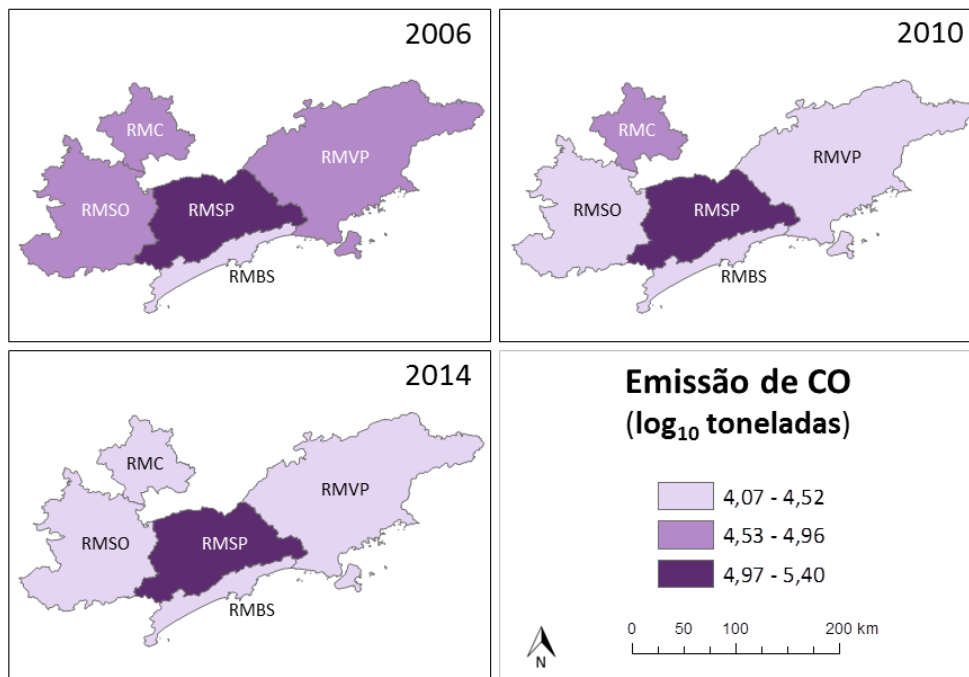


Figura 2. Evolução das emissões de monóxido de carbono (CO) nas regiões metropolitanas do Estado de São Paulo, no período de 2006 a 2014.

Fonte: DIAS, C et al (2016)

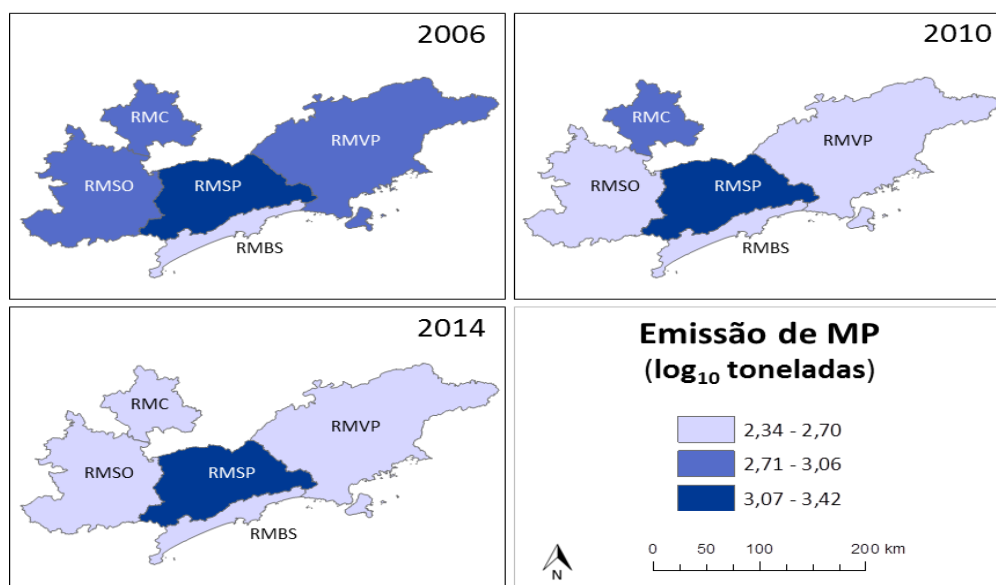


Figura 3. Evolução das emissões material particulado (MP) nas regiões metropolitanas do Estado de São Paulo, no período de 2006 a 2014

Fonte: DIAS, C et al (2016)

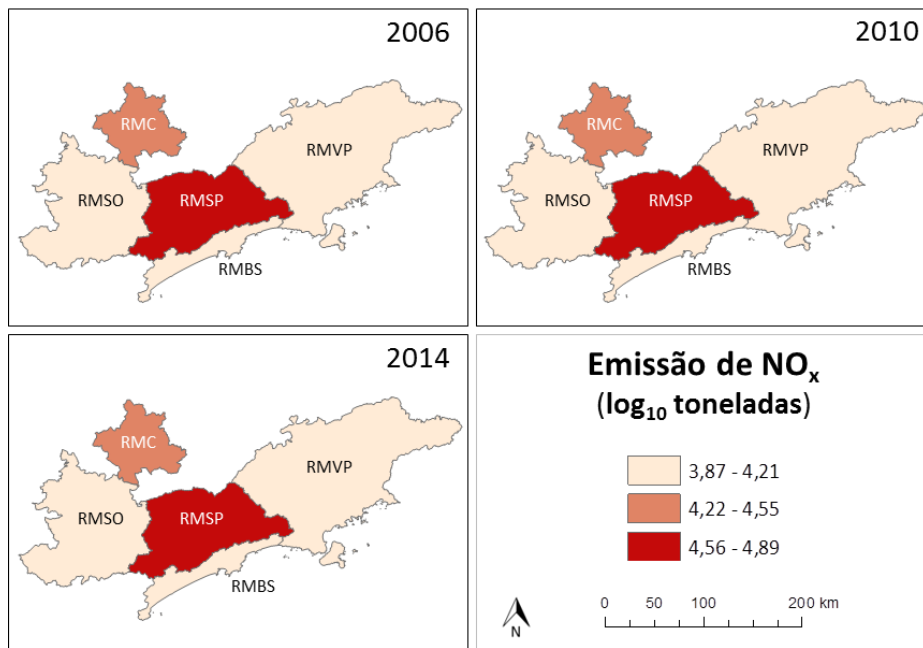


Figura 4. Evolução das emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) nas regiões metropolitanas do Estado de São Paulo, no período de 2006 a 2014

Fonte: DIAS, C et al (2016)

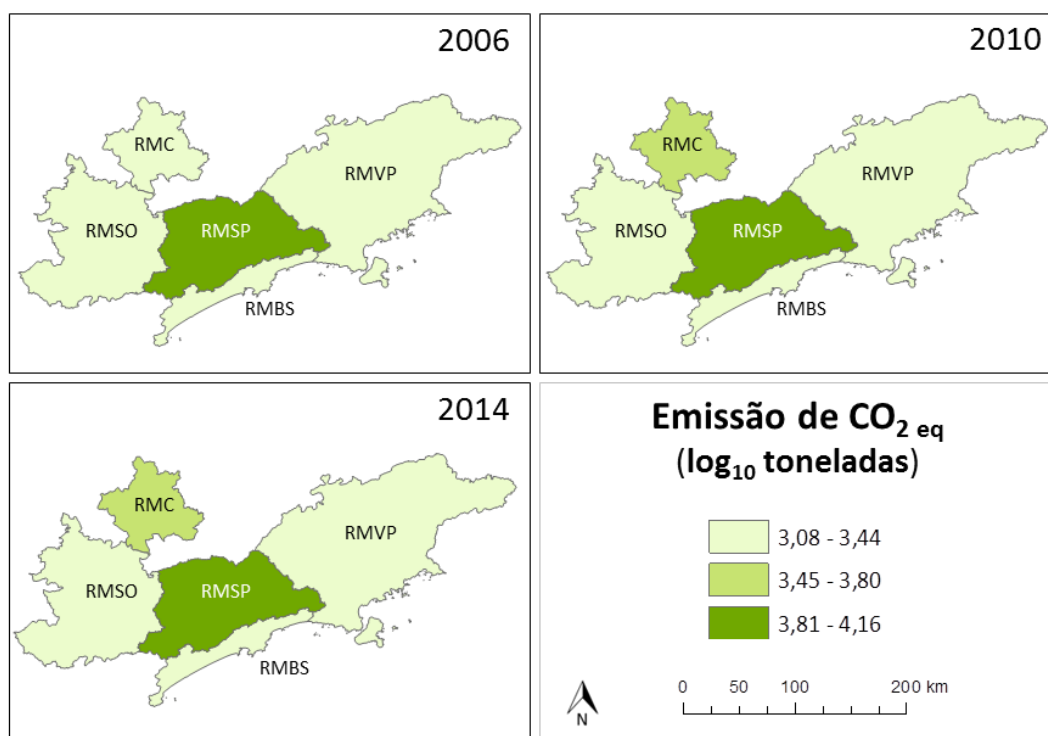


Figura 5. Evolução das emissões de óxidos de nitrogênio (CO₂ eq) nas regiões metropolitanas do Estado de São Paulo, no período de 2006 a 2014

Fonte: DIAS, C et al (2016)

Walker, C. M. et al (2015) afirmaram que o setor de transportes foi responsável por mais de 25% das emissões de gases de efeito estufa neste ano nos Estados Unidos da América. Os modelos de emissões de fontes móveis foram divididos em quatro grupos: modelos de macro-escala, meso-escala, micro-escala e modelos de ciclo de vida e elétricos. Os modelos macro trabalham com grandes áreas geográficas e não requerem dados de velocidade e aceleração. Empregando o modelo MOVES (USEPA, 2017) deve-se dividir a frota por categoria de veículos e características de localização (urbano, rural, por exemplo). Assim se pode determinar a atividade veicular; para veículos com longos ou curtos trajetos.

Pérez-Martinez, P. J. et al (2015) estudaram as tendências das emissões de CO, NO_x, ozônio e MP₁₀, principalmente das fontes móveis na região metropolitana de São Paulo (RMSP), no período de 2000 a 2013. Foi identificada a contribuição maior dos veículos leves nas emissões de CO e a contribuição dos veículos pesados nas emissões de NO_x e MP₁₀. Serão sempre encontradas discrepâncias entre os inventários de emissões atmosféricas disponíveis e as concentrações atmosféricas observadas dos poluentes regulamentados.

Borge, R. et al (2014) relacionaram os resultados de inventários de emissões atmosféricas e dados de modelagem para o desenvolvimento de planos de monitoramento de qualidade do ar, também para a cidade de Madri na Espanha. Madri é a capital e maior cidade da Espanha, localizada no centro da península Ibérica, com a população em torno de 5 milhões de pessoas em sua região metropolitana. No monitoramento da qualidade do ar, alguns poluentes têm ultrapassado os padrões de qualidade, como o dióxido de nitrogênio (NO₂), de acordo com os limites adotados na legislação europeia. Este fenômeno é atribuído à atividade veicular intensa, principalmente de veículos movidos a óleo diesel.

Qiu, P. et al (2014) apresentaram um inventário de emissões antrópicas para a aglomeração urbana principal da China, no ano de 2010, considerando os seguintes poluentes SO_2 , NO_x , MP_{10} , $\text{MP}_{2,5}$, CO, COVs e amônia (NH_3). Mostrando resultados em cálculos e figuras com a resolução de 3 km x 3 km. O modelo COPERT IV (EEA, 2012) é empregado para calcular as emissões dos veículos na aglomeração urbana chinesa. Foram consideradas nove classes de veículos, incluindo automóveis a gasolina, automóveis a diesel, comerciais leves a gasolina, caminhões a gasolina e a diesel, ônibus a diesel, ciclomotores e motocicletas. Os parâmetros principais analisados foram o teor de enxofre no combustível, a quilometragem anual dos veículos, os dados de condições de condução, como as velocidades médias, etc. Os processos industriais representaram as maiores fontes de emissão de MP_{10} , $\text{MP}_{2,5}$ e COVs com 46,6%, 60% e 31,4% das emissões. O NO_x se deve principalmente às plantas de fornecimento de energia. Futuramente, neste inventário os pesquisadores pretendem incluir as fontes biogênicas.

De acordo com Franco, V. et al (2013) a área de transportes apresenta uma grande contribuição para a qualidade do ar em áreas urbanas. Os fatores de emissão veiculares fornecem a quantidade de um dado poluente emitido por distância percorrida; ou energia consumida ou ainda por quantidade de combustível gasto. Podem ser determinados por categoria de veículo, ou para uma frota inteira. Dependem das características e da tecnologia de controle de emissões do veículo, das propriedades do combustível e de condições operacionais (ciclo de condução do veículo, por exemplo). Os fatores médios de emissão podem ser determinados por meio dos resultados de ensaios padronizados em laboratório, em um dinamômetro de chassis ou de motor. Entretanto, para a obtenção de fatores de emissão em condições reais de uso, existem outras formas de determinação (medições em túnel, sensoriamento remoto e medições "on-board", como ilustra a figura 6 de um veículo de passageiros equipado com PEMS ("Portable emissions measurement system").



Figura 6. Veículo de passageiros equipado com PEMS

Fonte: FRANCO, V. et al (2013)

Huo, H. et al (2011) analisaram emissões veiculares em várias cidades chinesas. Com o crescimento do número de veículos que circulam em todas as regiões da China, a poluição veicular tem aumentado. Os pesquisadores analisaram os maiores municípios chineses (Pequim, Xangai, Tianjin e Chonggin), além de sete capitais provinciais, nove cidades de médio porte e duas cidades de pequeno porte. Foram estimadas as emissões CO, COVs, óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado (MP_{10}) e dióxido de carbono (CO_2). A frota foi caracterizada em veículos leves, pesados e motocicletas, de acordo com o ano de fabricação. Foi utilizado o modelo IVE (International Vehicle Emissions) desenvolvido pelo ISSRC (International Sustainable Systems Research Center) de Davis and Lents, 2002. Os veículos leves contribuíram com de 30% a 60% das emissões de COVs e CO. E os veículos pesados são responsáveis por 75% das emissões de NO_x e 95% das emissões de MP_{10} .

Foi publicado em 2011, o 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2011). Este relatório apresenta as emissões veiculares no Brasil no período de 1980 a 2020 dos seguintes poluentes: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos não metano (NMHC), aldeídos (RCHO) e material particulado (MP); além dos gases de efeito estufa: dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄).

Dando continuidade ao estudo, foi publicado o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 (ano base 2012) que trouxe dados oficiais sobre emissões veiculares no país de 1980 a 2012, para poluentes regulamentados e gases de efeito estufa, apresentados como dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) que inclui o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄). Além das emissões de material particulado por desgaste de pneus, freios e pista (BRASIL, 2013).

No ano de 2011, também foi publicado o Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro, sob a coordenação de Rosa, L. P. et al. Foram apresentadas estimativas de emissões de CO, NO_x, RCHO, NMHC, NMHC evaporativas, CH₄, material particulado e CO₂ com metodologia baseada no 1º. Inventário Nacional (BRASIL, 2011) para possibilitar a realização de análises comparativas.

Zheng, J. et al (2009) elaboraram um inventário de fontes de poluição atmosférica de alta resolução, apresentado na tabela 2, para a região do Delta do Rio das Pérolas na China. As emissões foram georreferenciadas com a resolução de 3 km x 3 km. A metodologia adotada para fontes móveis foi da USEPA (2003). E para fontes fixas foram usados dados regionais.

Tabela 2. Resultados do Inventário de emissões no Delta do Rio das Pérolas, na China em 2006

categoria ou sub-categoria	SO ₂	NO _x	CO	MP ₁₀	MP _{2,5}	COV
usinas de produção de energia	360,3	368,6	111,1	89,1	38,2	7,2
produção industrial	289,6	104,1	1041,5	228,9	88,2	85,6
Fontes móveis						
urbanas	37,7	321,9	2582,3	92,5	74,2	464,7
marinhas	19,6	94	17,5	4,6	3,7	9,3
agrícolas	–	0,5	0,3	–	–	0,1
aeroportos	0,3	4,7	2,6	–	–	0,3
produção e emissão de COVs						
domésticas	–	–	–	–	–	21,9
pintura	–	–	–	–	–	182,5
recobrimento	–	–	–	–	–	88,4
Fontes Biogênicas						295,8
Outras						
Combustível Residencial	4,9	6,8	15	2,4	2,5	0,1
Incineração de lixo	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	
queima de biomassa	0,5	3,1	70	7,2	3,1	19,5
totais (kt)	711,4	891,9	3840,6	418,4	204,6	1180,1

Fonte: ZHENG, et al (2009)

Monks, P. S. et al (2009) publicaram uma revisão sobre a qualidade do ar nos níveis global e regional. Os autores afirmam que a poluição do ar tem implicações em várias áreas, como por exemplo: saúde humana (problemas respiratórios, câncer, alergias); nos ecossistemas, na deterioração do patrimônio histórico, nos climas regionais, etc. E a qualidade do ar é uma medida da perturbação antropogênica na atmosfera, além das interações dos compostos biogênicos. A exposição à poluição atmosférica requer a ação das autoridades de todos os níveis. Apresentam também uma lista detalhada de inventários de emissões, no nível regional e nacional, elaborados mundialmente.

Lipfert, F. W. et al (2008) apontaram os efeitos da exposição a longo prazo às emissões veiculares. Foram examinados vários modelos de exposição à poluição veicular, incluindo incertezas e a falta de controle dos veículos chamados de "high emitters" (veículos que emitem muito mais poluentes dos que os valores de referência próprios de sua categoria). O monóxido de carbono (CO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂) são poluentes frequentemente monitorados e

considerados tipicamente veiculares. O material particulado, especialmente o MP_{10} , é associado à ressuspensão nas vias. Outros elementos que podem não ser costumeiramente monitorados, mas que podem ser relacionados à poluição veicular, são:

- Partículas ultrafinas ou nanopartículas;
- Vários hidrocarbonetos, como benzeno e tolueno;
- Sílica e outros elementos relacionados à ressuspensão;
- Platina, paládio e ródio, devido à degradação do catalisador;
- Aditivos de combustíveis, como bário, manganês, chumbo e MTBE (éter metil t-butílico);
- Cobre, zinco, ferro, níquel e antimônio, dos motores e sistemas de freios;
- Enxofre proveniente dos combustíveis;
- Aditivos dos lubrificantes; e
- Várias substâncias carcinogênicas.

Os autores concluíram que estudos epidemiológicos devem complementar os estudos disponíveis.

Teixeira, E. C. et al (2008) estudaram as emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. E afirmaram que o aumento do número de fontes sem controle tem contribuído para a elevação dos níveis de poluição atmosférica. Os veículos pesados são responsáveis pela maior parte das emissões de NO_x e SO_x , enquanto que os veículos leves, movidos a gasolina e etanol, emitiram mais monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

Boriboonsomsin, K. et al (2006) apresentam um método simplificado para estimar emissões de fontes móveis para a avaliação da qualidade do ar nos Estados Unidos. O estudo se justifica por meio dos efeitos adversos da poluição à saúde humana. A poluição veicular tem impactos negativos tanto nos níveis local quanto regional. Segundo os autores, o total de milhas percorridas nos Estados Unidos aumentou mais de três vezes nos últimos 40 anos. Foi utilizada a

metodologia da USEPA para os cálculos com o modelo MOBILE 6 em 49 estados e o EMFAC para o estado da Califórnia. Em 2001, os veículos contribuíram com 27% do total das emissões de COVs, 37% das emissões de NO_x e 62% das emissões de CO. As fontes móveis apresentam impacto significativo nas emissões dos precursores de ozônio (O₃), quando há condições meteorológicas favoráveis.

A figura 7 demonstra a evolução das emissões veiculares na região metropolitana de São Paulo, no período de 2006 a 2015. Pode-se observar que houve redução das emissões veiculares para todos os poluentes considerados, mesmo com o crescimento da frota circulante. As reduções podem ser atribuídas às ações do PROCONVE/PROMOT (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) que estimularam as melhorias tecnológicas nos veículos e nos combustíveis automotivos. Deve-se destacar a queda acentuada nas emissões de dióxido de enxofre a partir de 2013, causada pela redução dos teores de enxofre dos combustíveis fósseis (CETESB, 2016b).

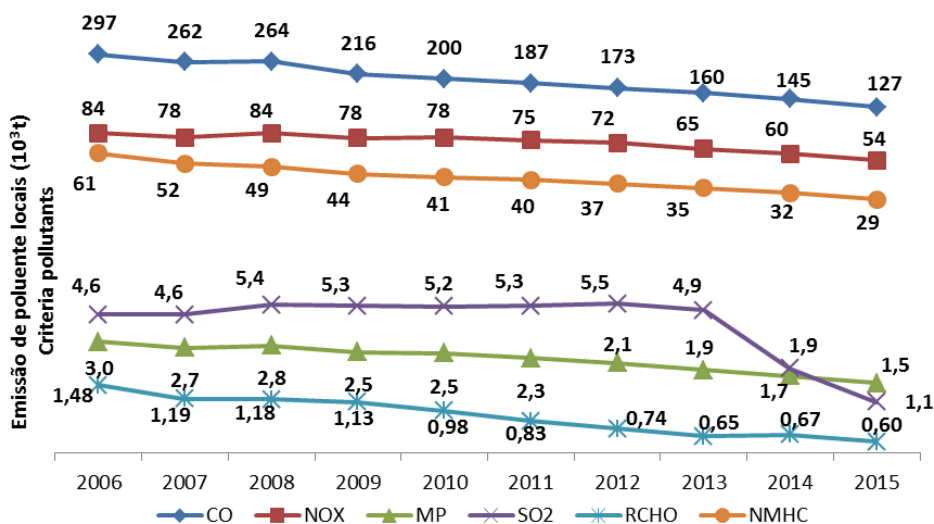


Figura 7. A evolução das emissões veiculares na RMSP, no período de 2006 a 2015

Fonte: CETESB, 2016b

3.1 O PROCONVE/PROMOT (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores)

O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE/PROMOT) foi inicialmente elaborado em 1986 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente–CONAMA 18/86. Desde então, o programa tem alcançado resultados mensuráveis e objetivos, como indica a tabela 3 com os limites de emissão de poluentes para veículos leves (IBAMA, 2011).

Os limites de emissão de monóxido de carbono (CO) foram reduzidos de 24,0 g/km na fase L1 do PROCONVE para 1,3 g/km na atual fase L6. Para os hidrocarbonetos não metano (NMHC) o limite foi reduzido de 0,16 g/km na fase L4 para 0,05 g/km na L6. Os óxidos de nitrogênio (NO_x) tiveram a redução de 2,0 g/km da fase L1, para 0,08 g/km na fase L6. Os aldeídos totais diminuíram o limite de 0,15 g/km (fase L2) para 0,02 g/km na fase L6 e o material particulado caiu de 0,05 g/km para 0,025 g/km, das fases L3 a L6. As emissões evaporativas também são controladas.

O Programa tem como principal meta a “redução dos níveis de emissão de poluentes nos veículos automotores além de incentivar o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automotiva, como em métodos e equipamentos para a realização de ensaios e medição de poluentes” (IBAMA, 2005).

Tabela 3. Limites do PROCONVE para veículos leves

Fase	Resolução CONAMA	Período	CO (g/km)	HC (g/km)	NMHC (g/km)	NO _x (g/km)	RCHO (g/km) (1)	MP (g/km) (2)	Evaporativa (g/teste) (1)	CO-Marcha Lenta (% 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
	315/02	mai/2003							2,0	
L4	315/02	2005 (40%)	2,0	0,30 (4)	0,16	0,25 (3)	0,03	0,05	2,0	0,5
		2006 (70%)				ou				
		2007(100%)				0,60 (2)				
L5 (3)	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
	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)						
		2015		1,5/2,0 (5)					0,2	

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, 2016b

A tabela 4 apresenta os limites do PROCONVE para veículos pesados. Pode-se observar que os limites de emissão de CO que na fase P2 eram 11,2 g/kWh, na fase P7 é de 1,5 g/kWh. Os óxidos de nitrogênio (NO_x) reduziram de 14,4 g/kWh na fase P2 para 2 g/kWh na fase P7 e o material particulado diminuiu de 0,7 g/kWh na fase P3 para 0,03 g/kWh na fase P7.

Tabela 4. Limites do PROCONVE para veículos pesados

Fase	Resolução CONAMA	Ciclo de Ensaio	Período	Aplicação	CO	HC	NMHC	CH ₄ (1)	NOx	MP	NH ₃	Opacidade com carga (ELR)	Opacidade sem carga	Fumaça
					g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh	ppm	m-1	m-1	k2
P1	18/86	Fumaça em carga	1987	Ônibus urbanos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5
			1989	Todos os veículos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P2	08/93	13 MODOS	1994	80% da comercialização	11,2	2,45	-	-	14,4	n.a.	-	-	-	
P3			1994	80% dos ônibus urbanos	4,9	1,23	-	-	9,0	n.a.	-	-	-	
			1996	80% da comercialização						0,7 (2) e 0,4	-	-	-	
n.a.	16/95	ACEL LIVRE	1996	Todos os veículos	-	-	-	-	-	-	-	-	0,83 (5) e 1,19 (6)	
P4	08/93 226/97 315/02	13 MODOS	1998	80% dos ônibus urbanos	4,0	1,10	-	-	7,0	0,25 (2) e (3) e 0,15	-	-		
			2000	80% dos demais veículos										
			2002	Todos os veículos										
P5	315/02	ESC e ELR	2004	Ônibus urbanos	2,1	0,66	-	-	5,0	0,10 e 0,13 (4)	-	0,8		
			2005	Microônibus				-						
				40% dos demais				-						
P6 (7)	315/02	ETC	2009	Todos os veículos	5,45	-	0,78	1,6	5,0	0,16 e 0,21 (4)	-	-		
		ETC	2006	Todos os veículos	4,0	-	0,55	1,1	3,5	0,03	-	-		
P7	403/08	ESC	2012	Todos os veículos	1,5	0,46	-	-	2,0	0,02	25	0,5		
		ETC			4,0	-	0,55	1,1	2,0	0,03	25	-		

Nota:

n.a. - não se aplica

(1) Apenas para motores movidos a gas natural.

(2) Para motores até 85kW.

(3) Para motores de até 0,7 dm³/cilindro com rotação máxima acima de 3000 RPM.

(4) Para motores de até 0,75 dm³/cilindro com rotação máxima acima de 3000 RPM.

(5) Motores aspirados.

(6) Motores turbo-alimentados.

(7) Fase inviabilizada pela falta de oferta de diesel com baixo teor de enxofre.

Fonte: CETESB, 2016b

4. DESENVOLVIMENTO

O estado de São Paulo possui cinco regiões metropolitanas que são: a região metropolitana de São Paulo, a região metropolitana de Campinas, a região metropolitana da Baixada Santista, a região metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte e a região metropolitana de Sorocaba. O número de municípios, a população e a frota circulante, de cada região considerada neste estudo, está apresentada na tabela 5.

A região metropolitana de São Paulo (RMSP) apresenta um alto potencial de formação de ozônio, uma vez que há grande emissão de seus precursores, os compostos orgânicos voláteis (COVs) e os óxidos de nitrogênio (NO_x), com grande participação de origem veicular. O ano de 2014 foi um ano com 43 dias de ultrapassagem do padrão do poluente ozônio (Padrão Estadual de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 8 horas). Portanto, esse poluente requer atenção e controle dos seus precursores (DIAS, C. 2016).

De acordo com a Emplasa (2017), a Macrometrópole Paulista é um dos maiores aglomerados urbanos do hemisfério sul. Abriga a região metropolitana de São Paulo (RMSP), entre as seis maiores do mundo, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), além das regiões metropolitanas da Baixada Santista, de Campinas, de Sorocaba, do Vale do Paraíba e Litoral Norte, as aglomerações urbanas de Jundiaí e de Piracicaba e a unidade regional Bragantina, ainda não institucionalizada.

Para este estudo, foram consideradas as maiores regiões metropolitanas e a Macrometrópole Paulista. Portanto, foram obtidas as estimativas e analisadas as emissões veiculares para a Macrometrópole Paulista, a região metropolitana de São Paulo e a região metropolitana de Campinas, com as respectivas frotas circulantes acima de 1 milhão de veículos.

Tabela 5. Número de municípios, população e frota no estado de São Paulo, macrometrópole paulista e região metropolitana de São Paulo e de Campinas, no ano de 2015

Região	Número de municípios	população	frota
Estado	645	43.046.555	15.394.614
Macrometrópole	174	31.973.843	11.624.431
RMSP	39	20.443.152	7.386.283
RMC	20	3.021.313	1.248.383

Fonte: SEADE (SEADE) e CETESB (2016b)

4.1 Metodologia

De modo geral, para o cálculo de emissões veiculares é utilizada a equação 1 (BRASIL, 2011).

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

Onde:

- E é a taxa anual de emissão do poluente considerado (g/ano);
- Fe é o fator de emissão do poluente considerado. É específico para cada tipo de veículo, idade e combustível utilizado. É expresso em massa de poluentes emitida por quilômetro percorrido ($g_{\text{poluente}}/\text{km}$);
- Fr é a frota de veículos circulante para cada tipo de veículo, idade e combustível considerado. É expressa em número de veículos; e
- Iu é a intensidade de uso do veículo. É específico para cada tipo e idade do veículo, expressa em quilometragem anual percorrida (km/ano).

Na elaboração de um inventário local a confiabilidade dos dados utilizados é imprescindível para que os resultados permitam explicar da melhor forma a estimativa das emissões lançadas pela frota circulante.

Para o cálculo das emissões da maioria dos poluentes emprega-se a abordagem *bottom-up*, em que a distância anual percorrida por cada tipo de veículo é considerada, além de outros fatores, tais como: frota, fator de emissão e combustível consumido. A escolha do grau de rigor depende da disponibilidade e qualidade dos dados.

São necessários os dados de autonomia (distância percorrida em quilômetros com um litro de combustível) e intensidade de uso ou quilometragem anual percorrida, por ano e categoria de veículos, por exemplo.

Os fatores médios de emissão para cada poluente são publicados anualmente pela CETESB e são determinados por meio de informações provenientes do PROCONVE/PROMOT (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) para veículos novos. No caso dos automóveis e comerciais leves, os fatores médios de emissão devem ser corrigidos por curvas de deterioração que incrementam os fatores de emissão, conforme avança a quilometragem acumulada do veículo. Essas curvas dependem também do ano de fabricação do veículo. Há uma curva diferente para cada ano ou intervalo (BRASIL, 2011).

De maneira abrangente o cálculo é dividido em duas grandes etapas: a primeira consiste na caracterização da frota circulante, envolvendo idade da frota, perfil de sucateamento e consumo do combustível para a correção da intensidade de uso. A segunda etapa, referente ao cálculo efetivo das emissões, considera os fatores de emissão específicos para cada poluente.

Os poluentes inventariados são:

- Monóxido de Carbono (CO): para todas as categorias de veículos e para gasolina comum, etanol hidratado e óleo diesel;
- Hidrocarbonetos não metano (NMHC): para todas as categorias de veículos e para gasolina comum, etanol hidratado e óleo diesel, incluem as emissões de escapamento, evaporativas e de abastecimento veicular;
- Óxidos de nitrogênio (NO_x): para todas as categorias de veículos e para gasolina comum, etanol hidratado e óleo diesel;
- Material particulado (MP): para todas as categorias de veículos que usam os combustíveis gasolina comum e óleo diesel; e
- Aldeídos totais (RCHO): incluem o formaldeído e o acetaldeído, para automóveis e comerciais leves do ciclo Otto.

Os combustíveis considerados foram a gasolina comum, o etanol hidratado e o óleo diesel. A gasolina comum tem etanol anidro em sua composição, em

percentual definido na legislação variando de 18% a 27% em volume. O etanol hidratado possui cerca de 5% em volume de água em sua composição.

Para o cálculo das emissões veiculares é necessário obter dados provenientes de diversas bases de dados como:

1. Licenciamento anual de veículos novos nos últimos 40 anos, da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016).
2. Licenciamento anual de motocicletas novos nos últimos 35 anos, da Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO, 2016).
3. Consumo anual de gasolina comum, etanol hidratado e óleo diesel, da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2016); Balanço Energético Nacional, (BEN, 2016) e do Balanço Energético do Estado de São Paulo (BEESP, 2016).
4. Preços médios anuais de gasolina comum e etanol hidratado, da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2016).
5. Taxas de sobrevivência de veículos (curvas de sucateamento) (BRASIL, 2011).
6. Intensidade de uso de referência (km/ano), da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2015).
7. Fatores médios de emissão de veículos novos por categoria, por poluente e por ano de fabricação (CETESB, 2016b).
8. Dados de autonomia dos veículos por categoria e por ano de fabricação (Fonte: BRASIL, 2011, CETESB, 2016b).
9. Dados da frota de veículos registrada, por categoria e por ano de fabricação (para o cálculo de emissões de regiões ou de municípios), (Detran/SP, 2016 e órgãos estaduais de trânsito).

A frota em circulação compreende todos os veículos com até 40 anos de fabricação. A categorização das frotas nas regiões é distribuída conforme tabela 6.

Para este estudo, considerou-se que os veículos das frotas circulantes das áreas estudadas encontram-se em condições adequadas de manutenção, de acordo com as recomendações dos fabricantes.

Tabela 6. Categorização da frota

Categorias	Motor/Combustível	Definição	
Automóveis	Otto	Gasolina C	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, inclusive o condutor
		Etanol Hidratado	
		<i>Flex-fuel</i>	
Comerciais Leves	Otto	Gasolina C	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou carga, com PBT até 3.856 kg (1)
		Etanol Hidratado	
		<i>Flex-fuel</i>	
	Diesel		
Motocicletas	Otto	Gasolina C	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car, dirigido em posição montada
		<i>Flex-fuel</i>	
Caminhões Semileves (3,8 t < PBT < 6 t)	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria, e PBT superior a 3.856 kg	
Caminhões Leves (6 t ≤ PBT < 10 t)			
Caminhões Médios (10 t ≤ PBT < 15 t)			
Caminhões Semipesados (15 t ≤ PBT e PBTC < 40 t)			
Caminhões Pesados (15 t ≤ PBT e PBTC ≥ 40 t)			
Ônibus Urbanos	Diesel	Veículo automotor de transporte coletivo dentro do município, de uso intermunicipal nas regiões metropolitanas e os midi-ônibus	
Micro-ônibus		Veículo automotor de transporte coletivo com capacidade para até vinte passageiros para uso urbano, intermunicipal ou rodoviário, incluindo os mini-ônibus	
Ônibus Rodoviários		Veículo automotor de transporte coletivo para transporte entre municípios, interestadual, internacional, turismo, fretamento e os especiais	

*PBT - peso bruto total

PBTC - peso bruto total combinado

Fonte: CETESB, 2016b

Para obter a frota em circulação, aplica-se a “curva de sucateamento”, ano a ano, sobre os dados de licenciamento anual de veículos novos fornecidos pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016), no caso dos veículos leves e pesados e pela Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO, 2016), no caso das motocicletas. A figura 8 mostra as curvas de sucateamento definidas no 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2011).

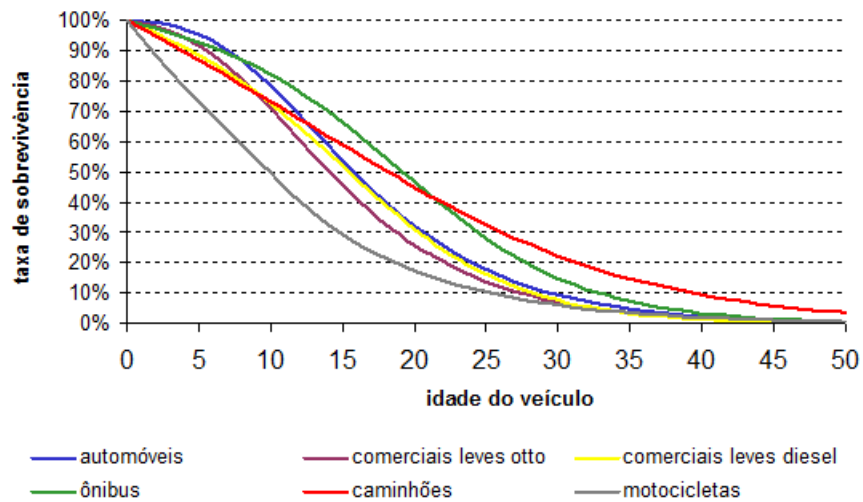


Figura 8. Curvas de Sucateamento para veículos

Fonte: BRASIL, 2011

4.1.1 Determinação da porcentagem de veículos flex fuel usando etanol hidratado ou gasolina comum

Para o cálculo das emissões veiculares é necessário estimar, no período de interesse, a porcentagem de veículos flex fuel que estão utilizando etanol hidratado ou a gasolina comum. Usualmente, a escolha do tipo de combustível depende do preço local dos combustíveis (relação de preços etanol hidratado/gasolina comum).

Pode-se utilizar o estudo apresentado por Goldemberg, J et al (2008) para determinar a fração efetiva da frota flex fuel operando com etanol hidratado por unidade da federação. Com a razão de preços de etanol hidratado e da gasolina comum, obtidos na Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2016) no ano de interesse e para a região em estudo, pode-se obter a fração de veículos leves flex fuel rodando com etanol hidratado. Deve-se ressaltar que não há estudos para a determinação da fração flex fuel para motocicletas.

4.1.2 Cálculo do consumo estimado

O consumo de combustível, por tipo de veículo e por ano, pode ser estimado por meio da equação 2:

$$C_{i,estimado} = (Fr \times I_{uso\ de\ referência}) / Autonomia \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

- $C_{i,estimado}$ – consumo anual de combustível do veículo do tipo i (L/ano);
- Fr – frota em circulação (número de veículos);
- $I_{uso\ de\ referência}$ – intensidade de uso de referência ou quilometragem anual de referência, percorrida pelos veículos considerados (km/ano);
e
- $Autonomia$ – distância percorrida pelo veículo com um litro de combustível (km/L).

4.1.3 Intensidade de uso de referência / Intensidade de uso ajustada

A intensidade de uso de referência deve ser corrigida ano a ano, de acordo com o consumo de combustível observado e o consumo de combustível estimado. Para se obter a intensidade de uso ajustada, a equação 3 é utilizada.

$$Iu_{ajustada} = Iu_{referência} \times (C_{observado} / C_{estimado}) \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

- $Iu_{ajustada}$ – intensidade de uso anual ajustada do tipo de veículo (km/ano);
- $Iu_{referência}$ – intensidade de uso de referência anual do tipo de veículo (km/ano);
- $C_{observado}$ – consumo de combustível anual total (L/ano); e
- $C_{estimado}$ – consumo anual total de combustível (de todas as categorias de veículos), estimado a partir dos valores de intensidade de uso de referência (L/ano).

4.2 Emissões de abastecimento

As emissões de um veículo automotor podem ocorrer pelo escapamento ou podem ser de natureza evaporativa devido à volatilidade dos combustíveis. Para o cálculo das emissões de compostos orgânicos voláteis durante o abastecimento veicular, é necessário determinar a taxa de evaporação de combustíveis (CETESB, 2015). Foram utilizadas taxas de evaporação da gasolina e do etanol determinadas no estudo "Redução da Emissão Evaporativa do Veículo em Movimento e no Reabastecimento de Combustível", Szwarc et al (2014).

Para as estimativas de emissões de abastecimento, foi empregado o consumo total de combustíveis, disponibilizado no Anuário da Secretaria de Energia do Estado de São Paulo 2015 para a Macrometrópole Paulista, a região metropolitana de São Paulo e a região metropolitana de Campinas (SÃO PAULO, 2016).

A tabela 7 apresenta as taxas de evaporação dos combustíveis comercializados no Brasil.

Tabela 7. Taxas de evaporação no abastecimento, para gasolina e etanol

Combustível	Taxa de evaporação (g/l)
Gasolina	1,14
Etanol	0,37

Fonte: SZWARC et al (2014), adaptado

Deste modo, os veículos que utilizam motores do ciclo Diesel não foram considerados no cálculo das emissões de COVs de abastecimento, pois a volatilidade do óleo diesel é baixa e não existem estudos consideráveis sobre esse assunto, assim como estudos referentes às motocicletas.

4.3 Emissões evaporativas

As emissões evaporativas, constituídas por hidrocarbonetos, podem ser subdivididas em (BRASIL, 2011):

- Emissões diurnas: geradas no sistema de combustível com o veículo em repouso, devido às mudanças de temperatura ambiente durante 24 horas. De acordo com o aumento da temperatura ambiente, o escape de vapores de combustível pelo sistema de alimentação e suas conexões também aumenta.
- Perdas em movimento: são as emissões de vapores de combustível que ocorrem com o deslocamento do veículo.
- Emissões evaporativas do veículo em repouso com o motor quente: emissões caracterizadas pelo fato do combustível estar parado e despressurizado.

A emissão evaporativa é obtida a partir de ensaio específico, realizado com equipamento denominado SHED, acrônimo para a expressão em inglês "*Sealed Housing for Evaporative Determination*". Trata-se de uma câmara selada, onde o veículo é inserido e sua emissão de vapor de combustível é mensurada pela concentração de hidrocarbonetos ao final do ensaio. O ensaio evaporativo é dividido em duas fases. A fase "*diurnal*" é realizada para mensurar o vapor de combustível emitido em consequência da exposição ao sol com o carro frio. A fase "*hot soak*" é realizada para quantificar a emissão de vapor de combustível devido ao aquecimento do motor após o uso. Esses resultados são utilizados para o cálculo do "*running losses*", fator que representa a emissão evaporativa do veículo em funcionamento (CETESB, 2016b).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A frota circulante, obtida de acordo com a metodologia adotada para a Macrometrópole Paulista em 2015, está indicada na tabela 8. A frota circulante está distribuída percentualmente na Macrometrópole Paulista em 60% de automóveis, 15% de motocicletas, 10% de comerciais leves ciclo Otto, 3% de caminhões, 2% em comerciais leves do ciclo Diesel e 1% de ônibus. No total, pode-se observar cerca de 11,6 milhões de veículos.

Tabela 8. Frota circulante na Macrometrópole Paulista em 2015

Categoria		Combustível	2015
Automóveis		Gasolina C	2.725.086
		Etanol Hidratado	188.737
		<i>Flex-fuel</i>	5.089.514
Comerciais Leves		Gasolina C	520.658
		Etanol Hidratado	18.006
		<i>Flex-fuel</i>	675.511
		Diesel	288.000
Caminhões	Semileves	Diesel	25.564
	Leves		79.390
	Médios		46.756
	Semipesados		77.686
	Pesados		80.520
Ônibus	Urbanos	Diesel	50.909
	Micro-ônibus		11.489
	Rodoviários		22.409
Motocicletas		Gasolina C	1.410.513
		<i>Flex-fuel</i>	313.681
Total			11.624.431

Fonte: CETESB, 2016b adaptado

Os veículos flex-fuel estão cada vez mais presentes na frota brasileira, seguidos pelos veículos dedicados à gasolina. Pode-se destacar que os veículos dedicados somente a etanol hidratado foram descontinuados da frota em 2006. As motocicletas também estão presentes em grande número na frota circulante das regiões metropolitanas.

A tabela 9 indica as emissões dos poluentes: monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e material particulado na Macrometrópole no ano de 2015. Os automóveis contribuem com as maiores emissões de CO, cerca de 135.031 toneladas, seguidos das motocicletas com 50.386 toneladas. Os comerciais leves do ciclo Otto emitiram 22.846 toneladas de CO em 2015. Os caminhões e ônibus têm as maiores emissões de NO_x, de 60.883 toneladas e 25.032 toneladas, e material particulado de 1.937 toneladas e 720 toneladas, respectivamente.

Tabela 9. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, na Macrometrópole

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
			CO	NO _x	MP
Automóveis		Gasolina C	72.328	9.348	41
		Etanol Hidratado	23.890	1.930	nd
		Flex-gasolina C	12.872	1.300	26
		Flex-etanol hidratado	25.941	2.121	nd
Comerciais Leves		Gasolina C	12.723	1.281	8
		Etanol Hidratado	1.571	159	nd
		Flex-gasolina C	1.951	253	4
		Flex-etanol hidratado	5.176	428	nd
		Diesel	1.425	6.261	272
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	358	1.860	87
	Leves		1.524	8.512	347
	Médios		1.011	5.771	278
	Semi-Pesados		3.864	22.109	633
	Pesados		3.693	22.631	592
Ônibus	Urbanos	Diesel	3.448	17.274	485
	Micro-ônibus		250	1.227	32
	Rodoviários		1.041	6.531	203
Motocicletas		Gasolina C	48.166	1.591	112
		Flex-gasolina C	1.322	94	6
		Flex-etanol hidratado	898	60	nd
Total			223.451	110.741	3.127

Fonte: CETESB, 2016b adaptado, nd – não disponível

O monóxido de carbono, os óxidos de nitrogênio e o material particulado são calculados utilizando a metodologia bottom-up. Embora as emissões de monóxido de carbono tenham diminuído com a atuação do PROCONVE/PROMT, ainda representam a maior emissão veicular nas regiões metropolitanas.

Os óxidos de nitrogênio são emitidos, em maior quantidade pelos veículos pesados, devido às configurações dos motores do ciclo Diesel. A determinação das emissões de material particulado é dificultada, uma vez que apenas estão disponíveis fatores de emissão provenientes do PROCONVE para os veículos pesados. Para os veículos leves, os fatores de emissão de material particulado provêm da literatura (BRASIL, 2011).

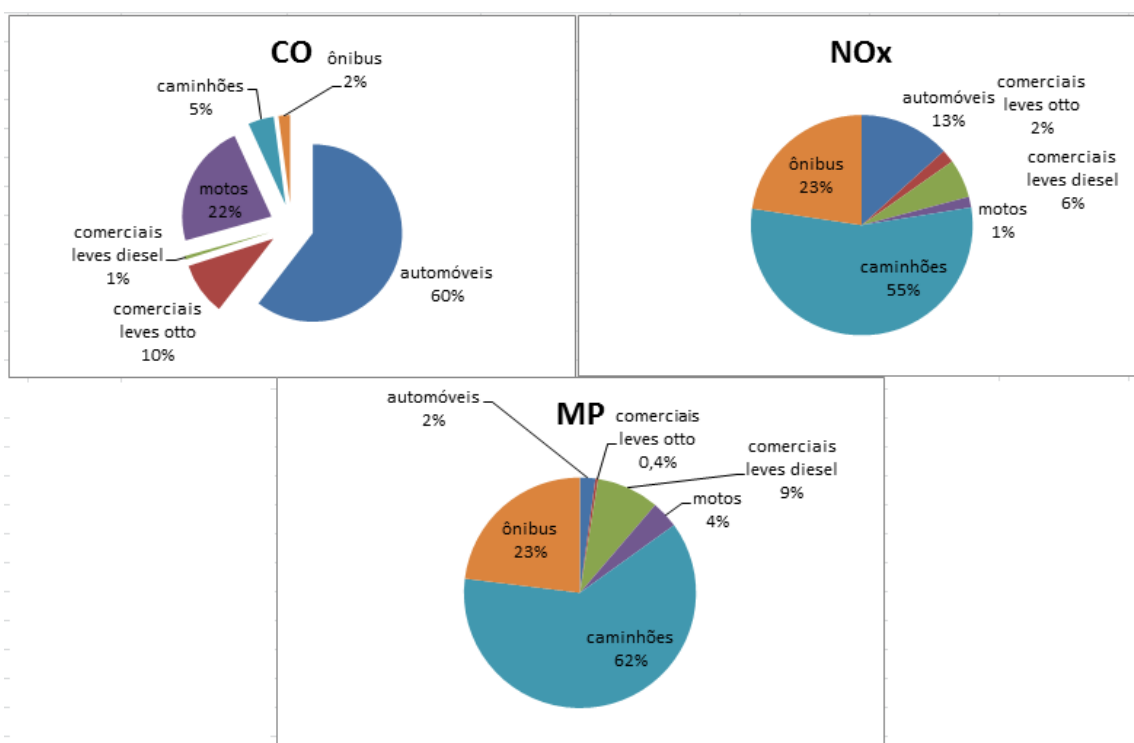


Figura 9. Contribuição percentual de cada categoria nas emissões

Fonte: CETESB, 2016b adaptado

A figura 9 demonstra a contribuição percentual de cada categoria nas emissões da macrometrópole. Os automóveis contribuem com 60% das emissões de CO, seguidos por 22% das motocicletas e 10% de comerciais leves do ciclo Otto. Considerando os óxidos de nitrogênio (NO_x), os caminhões são responsáveis por 55% das emissões, seguidos dos ônibus com 23% do total e os automóveis com 13%. Considerando o material particulado, os caminhões respondem por 62% das emissões, seguidos pelos ônibus com 23% das emissões.

A tabela 10 indica as emissões de hidrocarbonetos não metano de escapamento (NMHC escap), evaporativas (NMHC evap), e de abastecimento (NMHC abast); a

soma das três diferentes emissões resulta nas emissões de hidrocarbonetos não metano totais (NMHC total). E a soma dos hidrocarbonetos não metano totais com os aldeídos totais (RCHO) resulta na coluna de compostos orgânicos voláteis (COV), na Macrometrópole em 2015.

Tabela 10. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs na Macrometrópole em 2015

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
			NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV
Automóveis		Gasolina C	7.234	4.856	3.210	15.301	293	15.594
		Etanol Hidratado	2.262	2.089	88	4.439	35	4.474
		Flex-gasolina C	1.397	1.674	2.237	5.308	55	5.363
		Flex-etanol hidratado	3.058	2.793	1.759	7.610	474	8.084
Comerciais Leves		Gasolina C	1.035	1.809	848	3.692	34	3.726
		Etanol Hidratado	155	219	6	373	13	386
		Flex-gasolina C	222	256	487	965	10	975
		Flex-etanol hidratado	484	472	372	1.329	93	1.422
		Diesel	372	nd	nd	372	nd	372
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	110	nd	nd	110	nd	110
	Leves		453	nd	nd	453	nd	453
	Médios		325	nd	nd	325	nd	325
	Semi-Pesados		840	nd	nd	840	nd	840
	Pesados		942	nd	nd	942	nd	942
Ônibus	Urbanos	Diesel	723	nd	nd	723	nd	723
	Micro-ônibus		51	nd	nd	51	nd	51
	Rodoviários		304	nd	nd	304	nd	304
Motocicletas		Gasolina C	6.186	nd	nd	6.186	nd	6.186
		Flex-gasolina C	209	nd	nd	209	nd	209
		Flex-etanol hidratado	156	nd	nd	156	nd	156
Total			26.518	14.169	9.007	49.688	1.008	50.696

Fonte: CETESB, 2016b adaptado, nd – não disponível

As emissões de hidrocarbonetos não metano de escapamento e as evaporativas são determinadas pela metodologia bottom-up, e as emissões de abastecimento foram obtidas pela metodologia top-down.

As emissões de aldeídos também são resultantes da metodologia bottom-up.

As emissões de compostos orgânicos voláteis devem ser monitoradas e controladas, principalmente as emissões de abastecimento veicular que ainda não são controladas. Deve-se ressaltar que os compostos orgânicos voláteis e os

óxidos de nitrogênio são precursores de ozônio troposférico, um composto tóxico no nível do solo.

Os automóveis foram responsáveis por 32.658 toneladas de hidrocarbonetos não metano totais (NMHC total) em 2015. As motocicletas emitiram 6.551 toneladas de NMHC total e os comerciais leves do ciclo Otto emitiram 6.731 toneladas, em 2015.

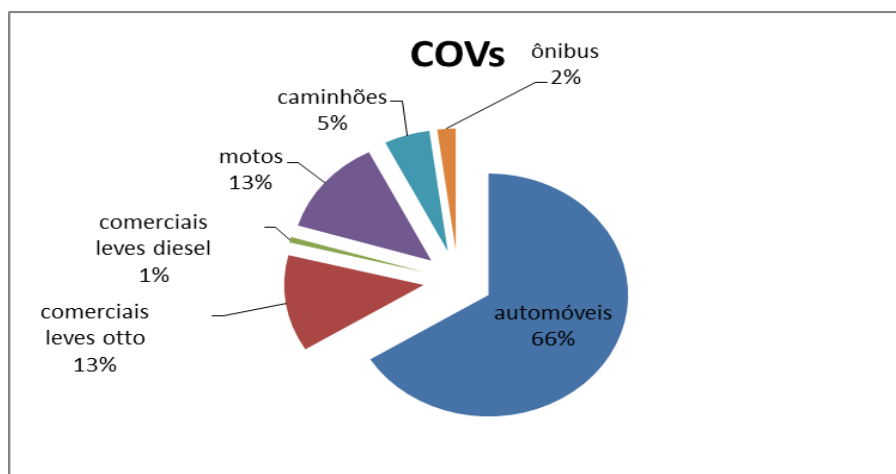


Figura 10. Contribuição percentual por categoria nas emissões de COVs

Fonte: CETESB, 2016b adaptado

A figura 10 indica a contribuição percentual de cada categoria nas emissões veiculares de COVs na Macrometrópole Paulista. De modo geral, os automóveis são responsáveis por 66% das emissões, seguidos pelos comerciais leves ciclo Otto e as motocicletas. Deve-se ressaltar a importância do controle das emissões de COVs em automóveis e motocicletas. Considerando a região metropolitana de São Paulo (RMSP), a frota circulante adotada corresponde a 71% de automóveis, 12% de motocicletas, 11% de comerciais leves do ciclo Otto, 3% de comerciais leves do ciclo Diesel, 2% de caminhões e 1% de ônibus, totalizando 7,4 milhões de veículos, como indica a tabela 11.

Tabela 11. Frota circulante na RMSP em 2015

Categoria		Combustível	2015
Automóveis		Gasolina C	1.882.641
		Etanol Hidratado	121.999
		<i>Flex-fuel</i>	3.273.643
Comerciais Leves		Gasolina C	366.724
		Etanol Hidratado	11.079
		<i>Flex-fuel</i>	409.071
		Diesel	184.652
Caminhões	Semileves	Diesel	14.763
	Leves		45.823
	Médios		27.043
	Semipesados		45.174
	Pesados		46.693
Ônibus	Urbanos	Diesel	34.477
	Micro-ônibus		7.785
	Rodoviários		15.220
Motocicletas		Gasolina C	771.205
		<i>Flex-fuel</i>	128.292
Total			7.386.283

Fonte: CETESB, 2016b adaptado

A tabela 12 indica as emissões dos poluentes: monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e material particulado na região metropolitana de São Paulo no ano de 2015. Os automóveis contribuem com as maiores emissões de CO com 82.202 toneladas, seguidos das motocicletas com 24.234 toneladas e dos comerciais leves do ciclo Otto com 12.683 toneladas.

Tabela 12. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, na RMSP

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
			CO	NO _x	MP
Automóveis		Gasolina C	45.179	5.841	26
		Etanol Hidratado	14.701	1.183	nd
		Flex-gasolina C	7.461	750	15
		Flex-etanol hidratado	14.861	1.214	nd
Comerciais Leves		Gasolina C	7.934	791	5
		Etanol Hidratado	909	88	nd
		Flex-gasolina C	1.055	138	2
		Flex-etanol hidratado	2.785	229	nd
		Diesel	935	3.994	177
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	207	1.071	50
	Leves		882	4.913	198
	Médios		586	3.339	160
	Semi-Pesados		1.290	7.348	210
	Pesados		1.225	7.517	196
Ônibus	Urbanos	Diesel	2.341	11.737	331
	Micro-ônibus		170	835	22
	Rodoviários		401	2.517	78
Motocicletas		Gasolina C	23.401	793	55
		Flex-gasolina C	499	35	2
		Flex-etanol hidratado	334	22	nd
Total			127.157	54.355	1.529

Fonte: CETESB, 2016b adaptado, nd – não disponível

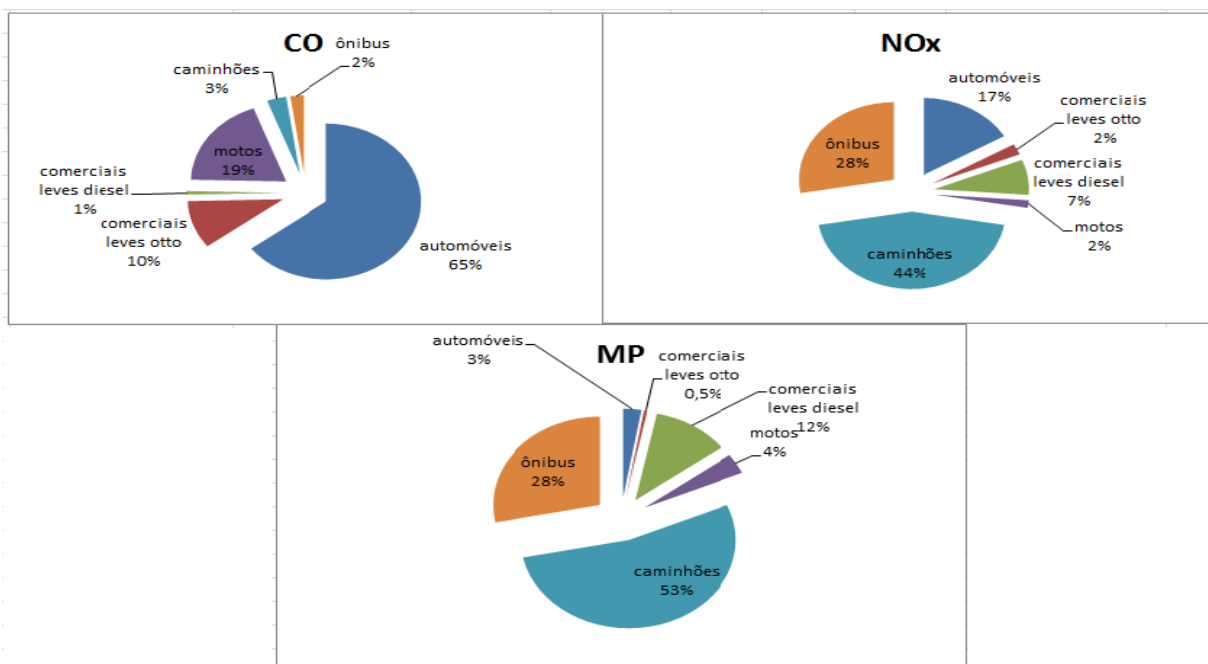


Figura 11. Contribuição percentual de cada categoria nas emissões

Fonte: CETESB, 2016b adaptado

Assim como ocorre na Macrometrópole, na região metropolitana de São Paulo os automóveis contribuem com 65% das emissões de CO, acompanhados pelas motocicletas com 19% e os comerciais leves ciclo Otto com 10% das emissões. Os caminhões e ônibus têm as maiores emissões de NO_x, com 44% e 28% das emissões na RMSP, respectivamente, como indica a figura 11.

As emissões de hidrocarbonetos não metano estão apresentadas na tabela 13, que com os aldeídos totais resultam nas emissões de compostos orgânicos voláteis, na região metropolitana de São Paulo em 2015.

Os automóveis emitiram 20.028 toneladas de NMHC total, incluindo as emissões de hidrocarbonetos de escapamento, as evaporativas e as emissões de abastecimento em 2015 na RMSP, os veículos comerciais leves contribuíram com 3.851 toneladas de NMHC totais e as motocicletas com 3.162 toneladas.

Tabela 13. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs na RMSP

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)						
		NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV	
Automóveis	Gasolina C	4.527	3.113	2.054	9.694	184	9.879	
	Etanol Hidratado	1.386	1.298	51	2.734	20	2.754	
	Flex-gasolina C	815	1.009	1.332	3.157	32	3.190	
	Flex-etanol hidratado	1.757	1.654	1.032	4.443	275	4.718	
Comerciais Leves	Gasolina C	644	1.170	556	2.370	22	2.392	
	Etanol Hidratado	89	128	3	216	7	223	
	Flex-gasolina C	120	144	273	537	6	543	
	Flex-etanol hidratado	259	263	206	728	50	778	
	Diesel	240	nd	nd	240	nd	240	
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	63	nd	nd	63	nd	63
	Leves		261	nd	nd	261	nd	261
	Médios		188	nd	nd	188	nd	188
	Semi-Pesados		279	nd	nd	279	nd	279
	Pesados		313	nd	nd	313	nd	313
Ônibus	Urbanos	Diesel	492	nd	nd	492	nd	492
	Micro-ônibus		35	nd	nd	35	nd	35
	Rodoviários		117	nd	nd	117	nd	117
Motocicletas	Gasolina C	3.025	nd	nd	3.025	nd	3.025	
	Flex-gasolina C	79	nd	nd	79	nd	79	
	Flex-etanol hidratado	58	nd	nd	58	nd	58	
Total		14.749	8.778	5.508	29.031	596	29.627	

Fonte: CETESB, 2016b adaptado, nd – não disponível

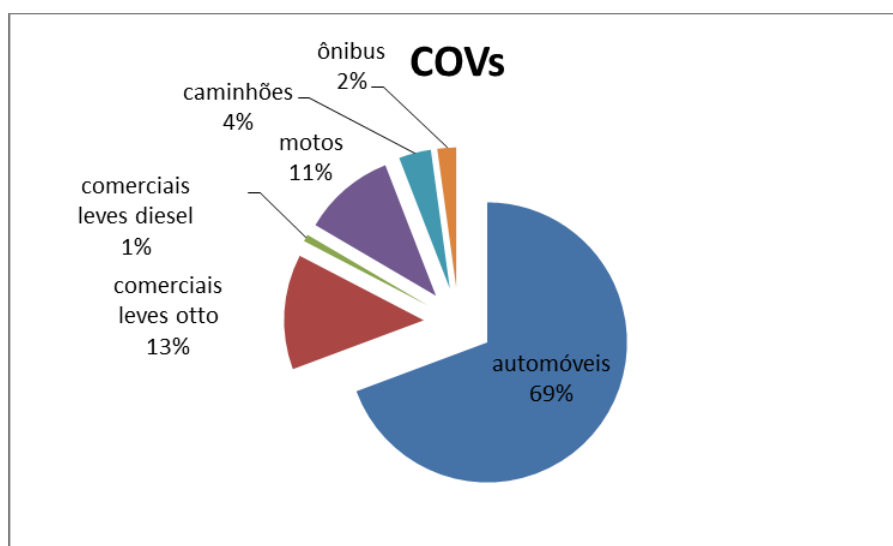


Figura 12. Contribuição percentual por categoria nas emissões de COVs

Fonte: CETESB, 2016b adaptado

A figura 12 indica a contribuição percentual de cada categoria nas emissões veiculares de COVs na região metropolitana de São Paulo. Assim como ocorre na Macrometrópole Paulista, na RMSP os automóveis são responsáveis pela maior

parte das emissões de COVs com 69% das emissões, seguidos pelos comerciais leves ciclo Otto e as motocicletas.

Como indica a tabela 14, a frota circulante na região metropolitana de Campinas tem 68% de automóveis, 16% de motocicletas, 10% de comerciais leves do ciclo Otto, 3% de caminhões, 2% em comerciais leves do ciclo Diesel e 1% de ônibus. No total, há cerca de 1,2 milhões de veículos.

Tabela 14. Frota circulante na RMCampinas em 2015

Categoria		Combustível	2015
Automóveis		Gasolina C	256.490
		Etanol Hidratado	21.033
		<i>Flex-fuel</i>	566.320
Comerciais Leves		Gasolina C	46.946
		Etanol Hidratado	2.005
		<i>Flex-fuel</i>	82.733
		Diesel	31.546
Caminhões	Semileves	Diesel	2.987
	Leves		9.383
	Médios		5.442
	Semipesados		9.380
	Pesados		9.787
Ônibus	Urbanos	Diesel	5.492
	Micro-ônibus		1.248
	Rodoviários		2.370
Motocicletas		Gasolina C	152.884
		<i>Flex-fuel</i>	42.339
Total			1.248.383

Fonte: CETESB, 2016b adaptado

A tabela 15 demonstra as emissões dos seguintes poluentes: monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e material particulado na região metropolitana de Campinas no ano de 2015. Os automóveis contribuem com as maiores emissões de CO com 16.058 toneladas, seguidos das motocicletas com 6.312 toneladas e dos comerciais leves do ciclo Otto com 2.611 toneladas.

Considerando as emissões de NO_x, os veículos pesados têm a maior parcela, os caminhões emitiram 9.228 toneladas na região metropolitana de Campinas em 2015, os ônibus contribuíram com 2.958 toneladas.

Os automóveis emitiram 1.714 toneladas de óxidos de nitrogênio (NO_x) na região metropolitana de Campinas em 2015. Os caminhões, em suas diversas categorias, emitiram 277 toneladas de material particulado na região metropolitana de Campinas em 2015. Os ônibus respondem por 82 toneladas de material particulado.

Tabela 15. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, na RMCampinas

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)			
		CO	NO _x	MP	
Automóveis	Gasolina C	7.883	1.013	4	
	Etanol Hidratado	2.914	237	nd	
	Flex-gasolina C	1.648	168	3	
	Flex-etanol hidratado	3.613	296	nd	
Comerciais Leves	Gasolina C	1.337	139	1	
	Etanol Hidratado	195	22	nd	
	Flex-gasolina C	280	36	1	
	Flex-etanol hidratado	799	67	nd	
	Diesel	146	664	28	
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	41	213	10
	Leves		176	983	39
	Médios		115	656	31
	Semi-Pesados		631	3.641	102
	Pesados		611	3.735	95
Ônibus	Urbanos	Diesel	376	1.862	50
	Micro-ônibus		27	132	3
	Rodoviários		153	964	29
Motocicletas	Gasolina C	5.964	196	14	
	Flex-gasolina C	202	14	1	
	Flex-etanol hidratado	146	10	nd	
Total		27.257	15.049	411	

Fonte: CETESB, 2016b adaptado, nd – não disponível

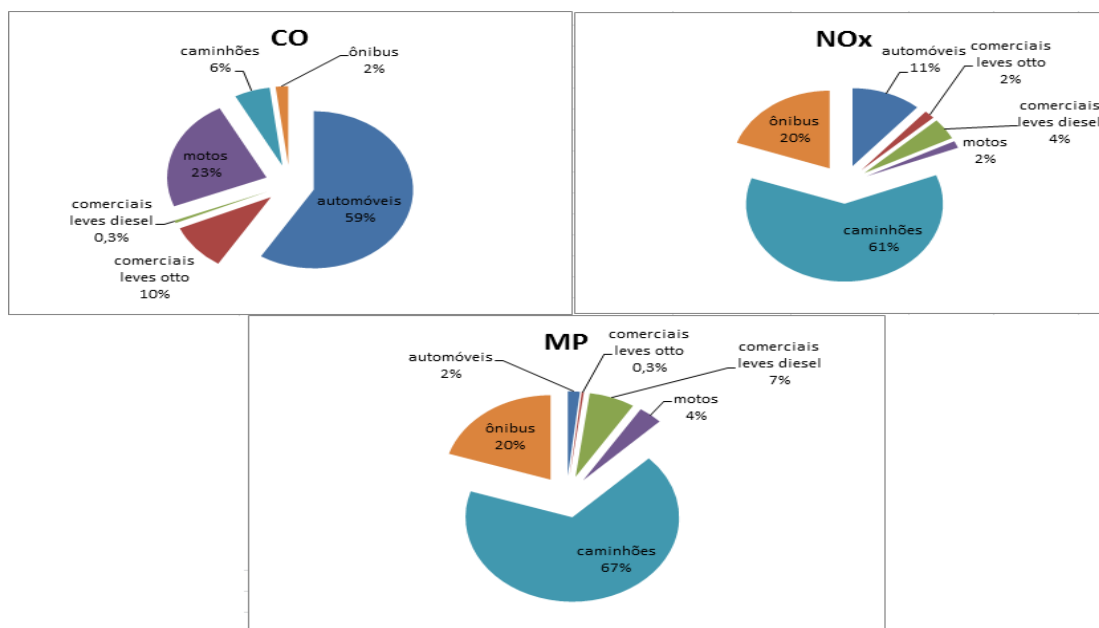


Figura 13. Contribuição percentual de cada categoria nas emissões

Fonte: CETESB, 2016b adaptado

Na região metropolitana de Campinas, os automóveis contribuem com 59% das emissões de CO, acompanhados pelas motocicletas com 23%, e os comerciais leves do ciclo Otto com 10% das emissões. Os caminhões e ônibus têm as maiores emissões de NO_x e material particulado, como indica a figura 13.

As emissões de hidrocarbonetos não metano estão apresentadas na tabela 16, resultando com os aldeídos totais nas emissões de compostos orgânicos voláteis na região metropolitana de Campinas em 2015.

Os automóveis emitiram 3.850 toneladas de NMHC total, incluindo as emissões de hidrocarbonetos de escapamento, as evaporativas e as emissões de abastecimento em 2015 na RMC, os veículos comerciais leves contribuíram com 747 toneladas de NMHC totais e as motocicletas com 822 toneladas.

Tabela 16. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs na RMCampinas

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)						
		NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV	
Automóveis	Gasolina C	785	511	336	1.632	32	1.664	
	Etanol Hidratado	279	250	12	540	5	545	
	Flex-gasolina C	177	203	276	656	7	663	
	Flex-etanol hidratado	424	364	233	1.022	65	1.087	
Comerciais Leves	Gasolina C	110	176	84	370	4	374	
	Etanol Hidratado	19	27	1	46	2	48	
	Flex-gasolina C	32	35	66	133	1	134	
	Flex-etanol hidratado	76	68	54	198	14	212	
	Diesel	39	nd	nd	39	nd	39	
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	13	nd	nd	13	nd	13
	Leves		52	nd	nd	52	nd	52
	Médios		37	nd	nd	37	nd	37
	Semi-Pesados		137	nd	nd	137	nd	137
	Pesados		154	nd	nd	154	nd	154
Ônibus	Urbanos	Diesel	77	nd	nd	77	nd	77
	Micro-ônibus		5	nd	nd	5	nd	5
	Rodoviários		44	nd	nd	44	nd	44
Motocicletas	Gasolina C	764	nd	nd	764	nd	764	
	Flex-gasolina C	32	nd	nd	32	nd	32	
	Flex-etanol hidratado	26	nd	nd	26	nd	26	
Total		3.281	1.635	1.063	5.978	129	6.107	

Fonte: CETESB, 2016b adaptado, nd – não disponível

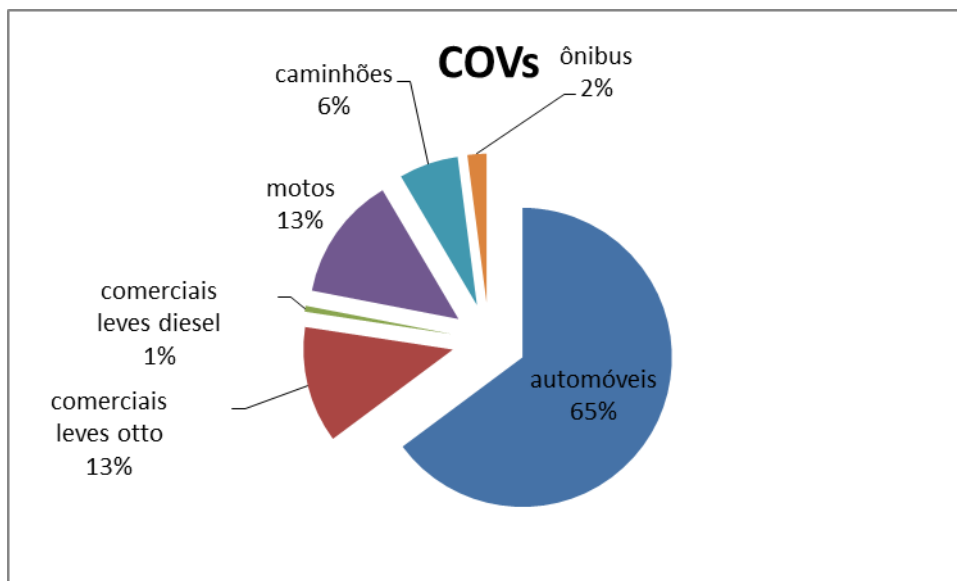


Figura 14. Contribuição percentual por categoria nas emissões de COVs

Fonte: CETESB, 2016b adaptado

A figura 14 indica a contribuição percentual de cada categoria nas emissões veiculares de COVs na região metropolitana de Campinas. Assim como ocorre nas demais regiões, os automóveis são responsáveis pela maior parte das emissões de COVs com 65% das emissões, seguidos pelos comerciais leves ciclo Otto e as motocicletas, ambos com 13% das emissões.

5.1 Configuração (a): Renovação de frota, com a troca dos caminhões com mais de 30 anos.

A troca dos caminhões com mais de 30 anos na frota circulante da Macrometrópole correspondeu à substituição de 3.219 caminhões semi-leves, 7.511 caminhões leves, 4.192 caminhões médios, 953 caminhões semi-pesados e 953 caminhões pesados.

A tabela 17 indica as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos caminhões com mais de 30 anos por veículos novos na Macrometrópole Paulista, no ano de 2015. Ocorre a redução nas emissões dos poluentes, devido principalmente à diminuição dos fatores médios de emissão de CO, NO_x e MP dos veículos antigos para os veículos novos. As emissões dos caminhões e suas sub-categorias estão em destaque.

Tabela 17. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de caminhões com mais de 30 anos na Macrometrópole

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
			CO	NO _x	MP
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	308	1.599	69
	Leves		1.351	7.518	278
	Médios		909	5.222	239
	Semi-Pesados		3.817	21.865	616
	Pesados		3.649	22.387	574
Ônibus	Urbanos	Diesel	3.448	17.274	485
	Micro-ônibus		250	1.227	32
	Rodoviários		1.040	6.527	203

nd – não disponível

A tabela 18 demonstra as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, na Macrometrópole em 2015, com a troca dos caminhões com mais de 30 anos da frota circulante. Não são calculadas emissões de NMHC evaporativas e de abastecimento para veículos do ciclo Diesel. A tabela 19 indica a redução de 165 toneladas de emissões de COVs com a troca dos caminhões antigos.

Tabela 18. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, depois da troca de caminhões com mais de 30 anos na Macrometrópole

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
		NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV
Caminhões	Semi-Leves	91	nd	nd	91	nd	91
	Leves	382	nd	nd	382	nd	382
	Médios	285	nd	nd	285	nd	285
	Semi-Pesados	823	nd	nd	823	nd	823
	Pesados	924	nd	nd	924	nd	924
Ônibus	Urbanos	723	nd	nd	723	nd	723
	Micro-ônibus	51	nd	nd	51	nd	51
	Rodoviários	304	nd	nd	304	nd	304

nd – não disponível

De acordo com a tabela 19, há a redução de 416 toneladas de CO, 2.296 toneladas de NO_x e 161 toneladas de material particulado, considerando o ano de 2015 após a troca de caminhões com mais de 30 anos na Macrometrópole.

Tabela 19. Redução das emissões de poluentes na Macrometrópole na configuração (a), ano base: 2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	416
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	2.296
Material particulado (MP)	161
NMHC escapamento	165
NMHC evaporativa	nd
NMHC abastecimento	nd
Aldeídos totais (RCHO)	nd
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	165

nd – não disponível

A tabela 20 indica as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos caminhões com mais de 30 anos por veículos novos na região metropolitana de São Paulo, no ano de 2015. Ocorre a diminuição na emissão destes poluentes, devido

principalmente à diminuição dos fatores médios de emissão de CO, NO_x e MP dos veículos antigos para os veículos novos.

A troca dos caminhões com mais de 30 anos na frota circulante da região metropolitana de São Paulo correspondeu à substituição de 1.721 caminhões semi-leves, 4.015 caminhões leves, 2.241 caminhões médios, 510 caminhões semi-pesados e 510 caminhões pesados.

Tabela 20. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de caminhões com mais de 30 anos de na RMSP

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
			CO	NO _x	MP
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	180	931	40
	Leves		789	4.382	162
	Médios		531	3.045	139
	Semi-Pesados		1.277	7.277	205
	Pesados		1.213	7.446	191
Ônibus	Urbanos	Diesel	2.341	11.737	331
	Micro-ônibus		170	835	22
	Rodoviários		401	2.517	78

nd – não disponível

A tabela 21 indica as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, na região metropolitana de São Paulo em 2015, com a troca dos caminhões com mais de 30 anos da frota circulante. A tabela 22 indica a redução de 80 toneladas de emissões de COVs com a troca dos caminhões antigos.

Tabela 21. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, após a troca de caminhões com mais de 30 anos de na RMSP

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
			NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	53	nd	nd	53	nd	53
	Leves		223	nd	nd	223	nd	223
	Médios		167	nd	nd	167	nd	167
	Semi-Pesados		274	nd	nd	274	nd	274
	Pesados		308	nd	nd	308	nd	308
Ônibus	Urbanos	Diesel	492	nd	nd	492	nd	492
	Micro-ônibus		35	nd	nd	35	nd	35
	Rodoviários		117	nd	nd	117	nd	117

Pode-se observar na tabela 22 que ocorre a redução de 200 toneladas de CO, 1.105 toneladas de NO_x e 78 toneladas de material particulado, considerando o ano de 2015.

Tabela 22. Redução das emissões de poluentes na RMSP na configuração (a), ano base:2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	200
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	1.105
Material particulado (MP)	78
NMHC escapamento	80
NMHC evaporativa	nd
NMHC abastecimento	nd
Aldeídos totais (RCHO)	nd
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	80

nd –não disponível

A tabela 23 apresenta as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos caminhões com mais de 30 anos por veículos novos na região metropolitana de Campinas, no ano de 2015.

A troca dos caminhões com mais de 30 anos na frota circulante da região metropolitana de Campinas correspondeu à substituição de 353 caminhões semi-leves, 823 caminhões leves, 460 caminhões leves, 104 caminhões semi-pesados e 104 caminhões pesados.

Tabela 23. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de caminhões com mais de 30 anos na RMCampinas

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
			CO	NO _x	MP
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	36	184	8
	Leves		157	874	31
	Médios		104	596	27
	Semi-Pesados		624	3.604	99
	Pesados		604	3.697	92
Ônibus	Urbanos	Diesel	376	1.862	50
	Micro-ônibus		27	132	3
	Rodoviários		153	964	29

nd – não disponível

A tabela 24 indica as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, na região metropolitana de Campinas em 2015, com a troca dos caminhões com mais de 30 anos da frota circulante. A tabela 25 indica a redução de 20 toneladas de emissões de COVs com a troca dos caminhões antigos.

Tabela 24. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, após a troca de caminhões com mais de 30 anos na RMCampinas

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
		NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV
Caminhões	Semi-Leves	11	nd	nd	11	nd	11
	Leves	44	nd	nd	44	nd	44
	Médios	32	nd	nd	32	nd	32
	Semi-Pesados	134	nd	nd	134	nd	134
	Pesados	151	nd	nd	151	nd	151
Ônibus	Urbanos	77	nd	nd	77	nd	77
	Micro-ônibus	5	nd	nd	5	nd	5
	Rodoviários	44	nd	nd	44	nd	44

nd – não disponível

Pode-se observar na tabela 25 que ocorre a redução de 50 toneladas de CO, 274 toneladas de NO_x e 19 toneladas de material particulado, considerando o ano de 2015 após a troca de caminhões com mais de 30 anos na região metropolitana de Campinas.

Tabela 25. Redução das emissões de poluentes na RMCampinas na configuração (a), ano base:2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	50
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	274
Material particulado (MP)	19
NMHC escapamento	20
NMHC evaporativa	nd
NMHC abastecimento	nd
Aldeídos totais (RCHO)	nd
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	20

nd –não disponível

5.2 Configuração (b): Renovação de frota, com a troca dos caminhões com mais de 20 anos.

A tabela 26 apresenta as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos caminhões com mais de 20 anos por veículos novos na Macrometrópole Paulista, no ano de 2015.

As emissões dos caminhões e sub-categorias estão destacadas.

A troca dos caminhões com mais de 20 anos na frota circulante da Macrometrópole Paulista correspondeu à substituição de 7.380 caminhões semi-leves, 17.219 caminhões leves, 13.096 caminhões leves, 4.543 caminhões semi-pesados e 4.543 caminhões pesados.

Tabela 26. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de caminhões com mais de 20 anos na Macrometrópole

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
			CO	NO _x	MP
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	236	1.224	43
	Leves		1.102	6.091	180
	Médios		670	3.920	149
	Semi-Pesados		3.574	20.582	520
	Pesados		3.422	21.105	478
Ônibus	Urbanos	Diesel	3.448	17.274	485
	Micro-ônibus		250	1.227	32
	Rodoviários		1.049	6.582	205

nd – não disponível

A tabela 27 indica as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, na Macrometrópole Paulista em 2015, com a troca dos caminhões com mais de 20 anos da frota circulante. A tabela 28 indica a redução de 574 toneladas de emissões de COVs com a troca dos caminhões antigos por veículos novos.

Pode-se observar na tabela 28 que ocorre a redução de 1.437 toneladas de CO, 7.909 toneladas de NO_x e 565 toneladas de material particulado, considerando o ano de 2015 após a troca de caminhões com mais de 20 anos na Macrometrópole Paulista.

Tabela 27. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, após a troca de caminhões com mais de 20 anos na Macrometrópole

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
			NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	65	nd	nd	65	nd	65
	Leves		281	nd	nd	281	nd	281
	Médios		193	nd	nd	193	nd	193
	Semi-Pesados		726	nd	nd	726	nd	726
	Pesados		829	nd	nd	829	nd	829
Ônibus	Urbanos	Diesel	723	nd	nd	723	nd	723
	Micro-ônibus		51	nd	nd	51	nd	51
	Rodoviários		307	nd	nd	307	nd	307

nd – não disponível

Tabela 28. Redução das emissões de poluentes na Macrometrópole na configuração (b), ano base:2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	1.437
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	7.909
Material particulado (MP)	565
NMHC escapamento	574
NMHC evaporativa	nd
NMHC abastecimento	nd
Aldeídos totais (RCHO)	nd
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	574

nd – não disponível

A tabela 29 indica as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos caminhões com mais de 20 anos por veículos novos na região metropolitana de São Paulo, no ano de 2015.

A troca dos caminhões com mais de 20 anos na frota circulante da região metropolitana de São Paulo correspondeu à substituição de 4.485 caminhões semi-leves, 10.464 caminhões leves, 8.386 caminhões leves, 3.147 caminhões semi-pesados e 3.147 caminhões pesados.

Tabela 29. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de caminhões com mais de 20 anos na RMSP

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
		CO	NO _x	MP
Caminhões	Semi-Leves	140	726	25
	Leves	653	3.601	107
	Médios	400	2.337	89
	Semi-Pesados	1.186	6.803	173
	Pesados	1.129	6.970	159
Ônibus	Urbanos	2.341	11.737	331
	Micro-ônibus	170	835	22
	Rodoviários	407	2.555	80

nd – não disponível

A tabela 30 indica as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, na região metropolitana de São Paulo em 2015, com a troca dos caminhões com mais de 20 anos da frota circulante. A tabela 31 indica a redução de 270 toneladas de emissões de COVs com a troca dos caminhões antigos por veículos novos.

Pode-se observar na tabela 31 que ocorre a redução de 768 toneladas de CO, 4.235 toneladas de NO_x e 304 toneladas de material particulado, considerando o ano de 2015 após a troca de caminhões com mais de 20 anos na região metropolitana de São Paulo.

Tabela 30. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, após a troca de caminhões com mais de 20 anos na RMSP

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
		NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV
Caminhões	Semi-Leves	38	nd	nd	38	nd	38
	Leves	166	nd	nd	166	nd	166
	Médios	115	nd	nd	115	nd	115
	Semi-Pesados	241	nd	nd	241	nd	241
	Pesados	274	nd	nd	274	nd	274
Ônibus	Urbanos	492	nd	nd	492	nd	492
	Micro-ônibus	35	nd	nd	35	nd	35
	Rodoviários	119	nd	nd	119	nd	119

Tabela 31. Redução das emissões de poluentes na RMSP na configuração (b), ano base:2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	768
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	4.235
Material particulado (MP)	304
NMHC escapamento	270
NMHC evaporativa	nd
NMHC abastecimento	nd
Aldeídos totais (RCHO)	nd
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	270

nd –não disponível

A tabela 32 indica as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos caminhões com mais de 20 anos por veículos novos na região metropolitana de Campinas, no ano de 2015. As emissões dos caminhões estão destacadas.

A troca dos caminhões com mais de 20 anos na frota circulante da região metropolitana de Campinas correspondeu à substituição de 798 caminhões semi-leves, 1.862 caminhões leves, 1.410 caminhões médios, 486 caminhões semi-pesados e 486 caminhões pesados.

Tabela 32. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de caminhões com mais de 20 anos na RMCampinas

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
			CO	NO _x	MP
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	28	144	5
	Leves		131	722	21
	Médios		78	457	17
	Semi-Pesados		587	3.411	85
	Pesados		570	3.504	78
Ônibus	Urbanos	Diesel	376	1.862	50
	Micro-ônibus		27	132	3
	Rodoviários		154	970	29

nd – não disponível

A tabela 33 demonstra as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, na região metropolitana de Campinas em 2015, com a troca dos caminhões com mais de 20 anos da frota circulante.

A tabela 34 indica a redução de 72 toneladas nas emissões de COVs com a troca dos caminhões antigos por veículos novos. Pode-se observar que ocorre a redução de 179 toneladas de CO, 985 toneladas de NO_x e 70 toneladas de material particulado, considerando o ano de 2015 após a troca de caminhões com mais de 20 anos na região metropolitana de Campinas.

Tabela 33. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, após a troca de caminhões com mais de 20 anos na RMCampinas

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
		NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV
Caminhões	Semi-Leves	8	nd	nd	8	nd	8
	Leves	33	nd	nd	33	nd	33
	Médios	22	nd	nd	22	nd	22
	Semi-Pesados	120	nd	nd	120	nd	120
	Pesados	137	nd	nd	137	nd	137
Ônibus	Urbanos	77	nd	nd	77	nd	77
	Micro-ônibus	5	nd	nd	5	nd	5
	Rodoviários	44	nd	nd	44	nd	44

nd – não disponível

Tabela 34. Redução das emissões de poluentes na RMCampinas na configuração (b), ano base:2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	179
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	985
Material particulado (MP)	70
NMHC escapamento	72
NMHC evaporativa	nd
NMHC abastecimento	nd
Aldeídos totais (RCHO)	nd
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	72

nd – não disponível

5.3 Configuração (c): Renovação de frota, com a troca dos ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos.

A tabela 35 indica as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos ônibus e micro-ônibus mais de 10 anos por veículos novos na Macrometrópole Paulista, no ano de 2015. As emissões dos ônibus e micro-ônibus estão destacadas. A troca dos ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos na frota circulante da Macrometrópole correspondeu à substituição de 16.054 ônibus e 3.415 micro-ônibus.

Tabela 35. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos na Macrometrópole

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
			CO	NO _x	MP
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	358	1.860	87
	Leves		1.524	8.512	347
	Médios		1.011	5.771	278
	Semi-Pesados		3.826	21.892	627
	Pesados		3.656	22.409	586
Ônibus	Urbanos	Diesel	2.552	12.017	189
	Micro-ônibus		170	823	14
	Rodoviários		1.031	6.467	201

nd – não disponível

A tabela 36 demonstra as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, na Macrometrópole em 2015, com a troca dos ônibus e micro-ônibus por veículos novos na frota circulante.

A tabela 37 indica a redução de 434 toneladas nas emissões de COVs com a troca dos ônibus e micro-ônibus antigos por veículos novos. Pode-se observar que ocorre a redução de 1.061 toneladas de CO, 6.166 toneladas de NO_x e 328 toneladas de material particulado, considerando o ano de 2015.

Tabela 36. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, após a troca de ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos na Macrometrópole

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)						
		NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV	
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	110	nd	nd	110	nd	110
	Leves		453	nd	nd	453	nd	453
	Médios		325	nd	nd	325	nd	325
	Semi-Pesados		832	nd	nd	832	nd	832
	Pesados		933	nd	nd	933	nd	933
Ônibus	Urbanos	Diesel	336	nd	nd	336	nd	336
	Micro-ônibus		24	nd	nd	24	nd	24
	Rodoviários		301	nd	nd	301	nd	301

Tabela 37. Redução das emissões de poluentes na Macrometrópole na configuração (c), ano base:2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	1.061
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	6.166
Material particulado (MP)	328
NMHC escapamento	434
NMHC evaporativa	nd
NMHC abastecimento	nd
Aldeídos totais (RCHO)	nd
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	434

A tabela 38 indica as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos ônibus e micro-ônibus mais de 10 anos por veículos novos na região metropolitana de São Paulo, no ano de 2015. As emissões dos ônibus e micro-ônibus estão destacadas.

A troca dos ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos na frota circulante da região metropolitana de São Paulo correspondeu à substituição de 11.342 ônibus e 2.355 micro-ônibus.

Tabela 38. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos na RMSP

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
			CO	NO _x	MP
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	207	1.071	50
	Leves		882	4.913	198
	Médios		586	3.339	160
	Semi-Pesados		1.265	7.202	206
	Pesados		1.201	7.368	192
Ônibus	Urbanos	Diesel	1.727	8.123	128
	Micro-ônibus		115	556	9
	Rodoviários		393	2.467	77

nd – não disponível

A tabela 39 demonstra as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, na região metropolitana de São Paulo em 2015, com a troca dos ônibus e micro-ônibus por veículos novos na frota circulante.

A tabela 40 indica a redução de 298 toneladas nas emissões de COVs com a troca dos ônibus e micro-ônibus antigos por veículos novos. Pode-se observar que ocorre a redução de 727 toneladas de CO, 4.238 toneladas de NO_x e 225 toneladas de material particulado, considerando o ano de 2015 após a troca de ônibus e micro-ônibus com mais de 10 anos na região metropolitana de São Paulo.

Tabela 39. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, após a troca de ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos na RMSP

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
			NMHC escap	NMHC evap	NMHC abest	NMHC total	RCHO	COV
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	63	nd	nd	63	nd	63
	Leves		261	nd	nd	261	nd	261
	Médios		188	nd	nd	188	nd	188
	Semi-Pesados		274	nd	nd	274	nd	274
	Pesados		307	nd	nd	307	nd	307
Ônibus	Urbanos	Diesel	228	nd	nd	228	nd	228
	Micro-ônibus		16	nd	nd	16	nd	16
	Rodoviários		115	nd	nd	115	nd	115

nd – não disponível

Tabela 40. Redução das emissões de poluentes na RMSP na configuração (c), ano base:2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	727
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	4.238
Material particulado (MP)	225
NMHC escapamento	298
NMHC evaporativa	nd
NMHC abastecimento	nd
Aldeídos totais (RCHO)	nd
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	298

nd – não disponível

A tabela 41 indica as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos ônibus e micro-ônibus mais de 10 anos por veículos novos na região metropolitana de Campinas, no ano de 2015. As emissões dos ônibus e micro-ônibus estão em destaque. A troca dos ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos na frota circulante da região metropolitana de Campinas correspondeu à substituição de 1.602 ônibus e 355 micro-ônibus.

Tabela 41. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos na RMCampinas

Categoria		Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
			CO	NO _x	MP
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	41	213	10
	Leves		176	983	39
	Médios		115	656	31
	Semi-Pesados		627	3.621	101
	Pesados		607	3.714	95
Ônibus	Urbanos	Diesel	288	1.352	22
	Micro-ônibus		19	93	2
	Rodoviários		152	959	29

nd – não disponível

A tabela 42 demonstra as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, na região metropolitana de Campinas em 2015, com a troca dos ônibus e micro-ônibus por veículos novos na frota circulante.

A tabela 43 indica a redução de 42 toneladas nas emissões de COVs com a troca dos ônibus e micro-ônibus antigos por veículos novos. Pode-se observar que ocorre a redução de 103 toneladas de CO, 597 toneladas de NO_x e 32 toneladas de material particulado, considerando o ano de 2015 após a troca de ônibus e micro-ônibus com mais de 10 anos na região metropolitana de Campinas.

Tabela 42. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, após a troca de ônibus urbanos e micro-ônibus com mais de 10 anos na RMCampinas

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
		NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV
Caminhões	Semi-Leves	13	nd	nd	13	nd	13
	Leves	52	nd	nd	52	nd	52
	Médios	37	nd	nd	37	nd	37
	Semi-Pesados	136	nd	nd	136	nd	136
	Pesados	153	nd	nd	153	nd	153
Ônibus	Urbanos	39	nd	nd	39	nd	39
	Micro-ônibus	3	nd	nd	3	nd	3
	Rodoviários	44	nd	nd	44	nd	44

nd – não disponível

Tabela 43. Redução das emissões de poluentes na RMCampinas na configuração (c), ano base:2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	103
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	597
Material particulado (MP)	32
NMHC escapamento	42
NMHC evaporativa	nd
NMHC abastecimento	nd
Aldeídos totais (RCHO)	nd
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	42

nd – não disponível

5.4 Configuração (d): Troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos.

A tabela 44 indica as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos na Macrometrópole Paulista, no ano de 2015. As emissões dos automóveis estão em destaque. A troca dos automóveis com mais de 30 anos na frota circulante da Macrometrópole Paulista correspondeu à substituição de 108.012 veículos.

Tabela 44. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de automóveis com mais de 30 anos, por veículos elétricos, na Macrometrópole

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
		CO	NO _x	MP
Automóveis	Gasolina C	61.775	8.949	40
	Etanol Hidratado	16.158	1.515	nd
	Flex-gasolina C	12.977	1.311	26
	Flex-etanol hidratado	26.201	2.143	nd

nd – não disponível

A tabela 45 demonstra as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos na Macrometrópole Paulista.

A tabela 46 indica a redução de 3.599 toneladas nas emissões de COVs após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos. Pode-se observar que ocorre também a redução de 17.462 toneladas de CO, 754 toneladas de NO_x, 352 kg de material particulado, 1.462 toneladas de NMHC de escapamento, 2.059 toneladas de NMHC evaporativas, 59 toneladas de NMHC de abastecimento e 19 toneladas de aldeídos totais (RCHO), considerando o ano de 2015 após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos, na Macrometrópole Paulista.

Tabela 45. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, após a troca de automóveis com mais de 30 anos, por veículos elétricos, na Macrometrópole

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
		NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV
Automóveis	Gasolina C	6.283	3.443	3.168	12.913	275	13.188
	Etanol Hidratado	1.657	1.399	70	3.127	28	3.156
	Flex-gasolina C	1.408	1.683	2.237	5.340	56	5.396
	Flex-etanol hidratado	3.088	2.813	1.759	7.673	478	8.152

nd – não disponível

Tabela 46. Redução das emissões de poluentes na Macrometrópole Paulista na configuração (d), ano base:2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	17.462
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	754
Material particulado (MP)	0,352
NMHC escapamento	1462
NMHC evaporativa	2059
NMHC abastecimento	59
Aldeídos totais (RCHO)	19
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	3599

nd – não disponível

A tabela 47 indica as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos na região metropolitana de São Paulo, no ano de 2015. As emissões dos automóveis estão em destaque.

A troca dos automóveis com mais de 30 anos na frota circulante da região metropolitana de São Paulo correspondeu à substituição de 62.326 veículos.

Tabela 47. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de automóveis com mais de 30 anos, por veículos elétricos, na RMSP

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
		CO	NO _x	MP
Automóveis	Gasolina C	38.626	5.594	26
	Etanol Hidratado	11.631	1.028	nd
	Flex-gasolina C	7.522	756	16
	Flex-etanol hidratado	14.964	1.223	nd

nd – não disponível

A tabela 48 demonstra as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, na região metropolitana de São Paulo em 2015, após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos.

A tabela 49 mostra a redução de 1.963 toneladas nas emissões de COVs após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos. Pode-se observar que ocorre a redução de 9.230 toneladas de CO, 374 toneladas de NO_x e 131 kg de material particulado, considerando o ano de 2015 após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos.

Tabela 48. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, após a troca de automóveis com mais de 30 anos, por veículos elétricos, na RMSP

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
		NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV
Automóveis	Gasolina C	3.935	2.230	2.028	8.204	173	8.378
	Etanol Hidratado	1.149	1.025	44	2.217	17	2.235
	Flex-gasolina C	822	1.015	1.332	3.176	33	3.209
	Flex-etanol hidratado	1.769	1.662	1.032	4.469	276	4.745

Tabela 49. Redução das emissões de poluentes na RMSP na configuração (d), ano base:2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	9.230
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	374
Material particulado (MP)	0,131
NMHC escapamento	785
NMHC evaporativa	1.134
NMHC abastecimento	33
Aldeídos totais (RCHO)	11
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	1.963

nd – não disponível

A tabela 50 indica as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP) após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos na região metropolitana de Campinas, no ano de 2015. As emissões dos automóveis estão em destaque.

A troca dos automóveis com mais de 30 anos na frota circulante da região metropolitana de Campinas correspondeu à substituição de 8.983 veículos.

Tabela 50. Emissões de CO, NO_x e MP em 2015, após a troca de automóveis com mais de 30 anos, por veículos elétricos, na RMCampinas

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)		
		CO	NO _x	MP
Automóveis	Gasolina C	6.762	970	4
	Etanol Hidratado	2.329	207	nd
	Flex-gasolina C	1.661	169	3
	Flex-etanol hidratado	3.634	298	nd

nd – não disponível

A tabela 51 demonstra as alterações nas emissões de NMHC de escapamento, NMHC totais e COVs, na região metropolitana de Campinas em 2015, após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos.

Tabela 51. Emissões de NMHC de escapamento, NMHC evaporativa e NMHC de abastecimento, NMHC total, RCHO totais, e COVs, após a troca de automóveis com mais de 30 anos, por veículos elétricos, na RMCampinas

Categoria	Combustível	Emissão por poluente (t/ano)					
		NMHC escap	NMHC evap	NMHC abast	NMHC total	RCHO	COV
Automóveis	Gasolina C	684	363	331	1.379	30	1.409
	Etanol Hidratado	234	199	10	443	5	447
	Flex-gasolina C	178	204	276	660	7	667
	Flex-etanol hidratado	427	366	233	1.027	65	1.092

nd – não disponível

A tabela 52 mostra a redução de 342 toneladas nas emissões de COVs após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos. Pode-se observar que ocorre a redução de 1.622 toneladas de CO, 66 toneladas de NO_x, 137 toneladas de NMHC de escapamento, 196 toneladas de NMHC evaporativas e 328 kg de material particulado, considerando o ano de 2015 após a troca dos automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos, na região metropolitana de Campinas.

Tabela 52. Redução das emissões de poluentes na RMCampinas na configuração (d), ano base:2015

poluente	massa (t/ano)
Monóxido de carbono (CO)	1.622
Óxidos de nitrogênio (NO_x)	66
Material particulado (MP)	0,046
NMHC escapamento	137
NMHC evaporativa	196
NMHC abastecimento	6,7
Aldeídos totais (RCHO)	2
Compostos orgânicos voláteis (COVs)	342

nd – não disponível

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das estimativas de emissões veiculares obtidas pode-se concluir que a troca de veículos antigos, nas frotas circulantes da Macrometrópole Paulista e nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas, em 2015, tanto para os veículos pesados como para os veículos leves, resulta na redução das emissões de poluentes regulamentados. Foram considerados o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos não metano - NMHC (de escapamento, evaporativas e de abastecimento veicular), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os aldeídos totais (RCHO) e material particulado.

A somatória dos hidrocarbonetos não metano (NMHC) com os aldeídos totais (RCHO) resultam nos compostos orgânicos voláteis (COVs), que juntamente com os óxidos de nitrogênio (NO_x) formam o ozônio troposférico, em condições climatológicas favoráveis. Deste modo, é sempre necessário o controle destes poluentes para a mitigação da formação de ozônio e os programas de renovação de frota podem contribuir com a redução destas emissões.

Com a troca de caminhões com mais de 30 anos, pode-se reduzir cerca de 2.296 toneladas de NO_x na Macrometrópole Paulista, 1.105 toneladas de NO_x na região metropolitana de São Paulo e 274 toneladas de NO_x na região metropolitana de Campinas, considerando o ano de 2015.

Com a troca de caminhões com mais de 20 anos, pode-se reduzir cerca de 7.909 toneladas de NO_x na Macrometrópole Paulista, 4.235 toneladas de NO_x na região metropolitana de São Paulo e 985 toneladas de NO_x na região metropolitana de Campinas, considerando o ano de 2015.

Com a troca de ônibus e micro-ônibus mais de 10 anos, pode-se reduzir cerca de 6.166 toneladas de NO_x na Macrometrópole Paulista, 4.238 toneladas de NO_x na região metropolitana de São Paulo e 597 toneladas de NO_x na região metropolitana de Campinas, considerando o ano de 2015.

Por fim, com a troca de automóveis com mais de 30 anos por veículos elétricos, pode-se reduzir cerca de 17.462 toneladas de CO e 3.599 toneladas de COVs na Macrometrópole Paulista. Assim como pode-se obter a redução de 9.230 toneladas de CO e 1.963 toneladas de COVs na região metropolitana de São Paulo, considerando o ano de 2015. Na região metropolitana de Campinas em 2015, pode-se reduzir as emissões de 1.622 toneladas de CO e 342 toneladas de COVs.

Portanto, com a troca dos veículos mais antigos por novos modelos, com novas tecnologias de controle de emissões; ocorre a redução das emissões de poluentes veiculares nas áreas estudadas.

Com o objetivo de reduzir as emissões de COVs, o enfoque deve ser a troca de automóveis antigos por veículos novos. Já renovação da frota de caminhões e ônibus deve ter como objetivo principal a remoção de óxidos de nitrogênio e material particulado da atmosfera.

Deve-se destacar as ações e programas do PROCONVE/PROMOT, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, nas reduções de emissões veiculares desde a sua implantação.

Os planos e programas para a introdução de veículos elétricos na frota veicular do estado de São Paulo precisam contemplar as análises de viabilidade técnica e econômica. Uma vez que subsídios governamentais devem existir para a compra dos veículos e a implantação de redes de recarga veicular, como estão sendo feitos na Europa e nos Estados Unidos. Deve-se considerar os impactos ambientais provenientes de todo o ciclo de vida dos veículos elétricos, na mudança do uso dos combustíveis tradicionais (gasolina C, etanol hidratado e óleo diesel) para a energia elétrica.

Assim como os planos e programas governamentais para a renovação de frota de veículos pesados devem prever os recursos necessários para a implantação dos mesmos.

Todos estes planos devem observar a destinação adequada dos veículos usados que serão retirados de circulação, objetivando a melhora da qualidade do ar de municípios e regiões metropolitanas.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- (1) Estudos sobre a influência nas emissões veiculares, da utilização de veículos equipados com células a combustível, com estudos de viabilidade técnico-econômica da substituição de veículos antigos.
- (2) Estudos da influência da utilização de veículos pesados movidos a GNV-gás natural veicular ou a etanol hidratado, nas emissões de poluentes veiculares regulamentados e de gases de efeito estufa.
- (3) Estudos das emissões veiculares provenientes de veículos que usam biodiesel de cana-de-açúcar como combustível.
- (4) Proposição de cenários para a avaliação dos impactos ambientais resultantes da remoção de poluentes regulamentados da atmosfera, com a melhora da qualidade do ar e os benefícios à saúde pública.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACICLO. **Anuário da indústria brasileira de duas rodas 2015**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.abraciclo.com.br/anuario-de-2015>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

ANFAVEA. Estatísticas. **Dados relativos a 2015**: produção, vendas, exportação - produção, vendas e exportação de autoveículos. São Paulo, 2016. Disponível em <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - Índice**. (Anuários dos anos de 2006 a 2015). Disponível em <<http://anp.gov.br/?id=661>> Acesso em: 29 ago. 2016.

BORGE, R et al. **Emission inventories and modeling requirements for the development of air quality plans. Application to Madri (Spain)**, Science of the Total Environment, 466-467, p. 809-819, 2014.

BORIBOONSOMSIN, K. et al. **Simplified Methodology to Estimate Emissions from Mobile Sources for Ambient Air Quality Assessment**, Journal of Transportation Engineering, 132(10), p. 817-828, 2006.

BRASIL. CONAMA. **Resolução CONAMA nº 432/2011, de 13 de julho de 2011**. Estabelece novas fases de controle de emissões de gases poluentes por ciclomotores, motocicletas e veículos similares novos, e dá outras providências. Com alterações posteriores. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=653>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

BRASIL. MMA. **1º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**: Relatório Final. [Brasília-DF], 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/publicacao/163_publicacao27072011_055200.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2016.

BRASIL. MMA et al. **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários 2013**: ano-base 2012: relatório final. [Brasília, DF], 2014. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario de Emissoes por Veiculos Rodoviaros 2013.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviaros_2013.pdf)>. Acesso em: 29 ago. 2016.

CETESB. **Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo automotor da frota da cidade de São Paulo**. São Paulo, SP, 2013. 67 p. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://veicular.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/35/2013/12/curvas-intensidade-uso-veiculos-automotores-cidade-sao-paulo.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

CETESB. **Metodologia de inventário de evaporação de combustíveis no abastecimento de veículos leves do ciclo Otto**. São Paulo, SP, 2015. 15 p. Disponível em: <<http://veicular.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/35/2013/12/Metodologia-de-inventario-de-evaporacao-de-combustivel-no-abastecimento-de-veiculos-leves-Otto.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2017.

CETESB. **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2015**, São Paulo, SP, 2016a. 165 p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2013/12/RQAR-2015.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

CETESB. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2015**, São Paulo, SP, 2016b. 212 p. Disponível em: <<http://ar.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2013/12/RQAR-2015.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

CETESB. **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2016**, São Paulo, SP, 2017. 198 p. Disponível em: <<http://veicular.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/35/2013/12/Relatorio-Emissoes-Veiculares-2015-v4.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

DETRAN/SP. **Frota de veículos em São Paulo**, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.detran.sp.gov.br/wps/portal/portaldetran/detran/estatisticatransito/sa-frotaveiculos>> Acesso em 10 abr. 2017.

EEA (European Environment Agency). **COPERT 4 – Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport**, User Manual (version 9.0), 2012.

EMPLASA. **Macrometropole Paulista**. Disponível em: <<https://www.emplasa.sp.gov.br/>>. Acesso em: 16 mai. 2017.

FRANCO, V. et al. **Road Vehicle emission factors development: A review**, Atmospheric Environment 70, p. 84-97, 2013.

GOLDEMBERG, J; NIGRO, F; COELHO, S. **Bioenergia no estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas**. São Paulo: IMESP, 2008. Disponível em: <http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs/livro_bioenergia.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2016.

HUO, H. et al. **Modeling vehicle emissions in diferente types of Chinese cities: Importance of vehicle fleet and local features**, Environmental Pollution, p. 2954-2960, 2011.

IBAMA. **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – PROCONVE (PROGRAMA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES)/PROMOT/IBAMA**. 3ª ed. Brasília: Ibama/Diqua,

2011. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/category/4?download=4792%3Amanual-portugues>>. Acesso em: 01 fev. 2017.

IPCC. National Greenhouse Gas Inventories Programme. **2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. . Edited by Simon Eggleston et al. . Hayama, JP: IGES, 2006. v. 2, n. 3. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf> Acesso em: 29 ago. 2016.

LIPFERT, F. W. et al. **On exposure and response relationships for health effects associated with exposure to vehicular traffic**, Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology (18), p. 588-599, 2008.

MONKS, P.S. et al. **Atmospheric composition change – global and regional air quality**, Atmospheric Environment 43, p. 5268-5350, 2009.

MOVES (**EPA`s Motor Vehicle Emission Simulator**). Disponível em: <<https://www.epa.gov/moves> > Acesso em: 21 jun 2017.

NOPMONGCOL, U. et al. **Air Quality Impacts of Electrifying Vehicles and Equipment Across the United States**, Environmental Science&Technology, 51, p. 2830-2837, 2017.

PÉREZ-MARTINEZ, P. J. et al. **Traffic-related air quality trends in São Paulo**, Brazil , Journal of Geophysical Research: Atmospheres, p. 1-15, 2015.

QIU, P. et al. **An elaborate high resolution emission inventory of primary air pollutants for the Central Plain Urban Agglomeration of China**, Atmospheric Environment 86, p. 93-101, 2014.

ROSA, L. P.(Coord.). **Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro**, Fundação COPPETEC, 151 p, 2011.

SÃO PAULO. **Lei nº 15.831 de 15 de junho de 2015**. Autoriza o Poder Executivo a disciplinar nos contratos de concessão a idade média da frota de ônibus, miniônibus e micro-ônibus que opera no Sistema de Transporte Coletivo Urbano de Caráter Metropolitano, e dá providências correlatas. Diário Oficial [do] Estado de São Paulo. Poder Legislativo vol. 125(106). p .8 (2015). Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/norma/?id=174856>>Acesso em: 20 jun 2017.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia. **Balço energético do estado de São Paulo - 2015**: ano-base - 2014. São Paulo, 2015. (Série Informações Energéticas, 002). Texto bilíngue português-ínglês. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/724.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia. **Anuário de Energéticos por município – Estado de São Paulo (ano base 2015), 2016.** Disponível em: <http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portaIcev2/intranet/BiblioVirtual/diversos/anuario_energetico_municipio.pdf> Acesso em: 27 jun 2017.

SÃO PAULO (Estado). **Guia do programa de incentivo à renovação da frota de caminhões.** [S.I.: s.n.], [2012]. Disponível em: Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado de São Paulo PCPV 2014/2016. Acesso em 05 abr 2017.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia e Mineração. **“Europa vai definindo fim dos carros a gasolina e diesel”** – Disponível em: <<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/2017/07/europa-vai-definindo-fim-dos-carros-gasolina-e-diesel>> Acesso em: 16 ago 2017.

SZWARC, A.; FARAH, E.L.; BRANCO, G.M.; BRANCO, F.C. **Redução da emissão evaporativa do veículo em movimento e no reabastecimento de combustível.** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, 22, 2014, São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: AEA, 2014. Disponível em: <http://www.proceedings.blucher.com.br/pdf/engineeringproceedings/simea2014/105.pdf>. Acesso em 12 jan 2015.

TEIXEIRA, E. C. et al. **Estudo das emissões de fontes móveis na região metropolitana de Porto Alegre,** Rio Grande do Sul, Química Nova , vol. 31, No.2, p. 244-248, 2008.

VEDRENNE, M. **A comprehensive approach for the evaluation and comparison of emission inventories in Madri,** Atmospheric Environment 145, p. 29-44, 2016.

WALKER, C. M. et al. **Vehicle Emissions and Life Cycle Analysis Models of Gasoline and Electric Vehicles EPA (Environmental Protection Agency),** 2015 Disponível em: <<http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/awalker.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2017.

ZHENG, J. et al. **A highly resolved temporal and spatial air pollutant emission inventory for the Pearl River Delta region, China and its uncertainty assessment,** Atmospheric Environment 43, p. 5112-5122, 2009.