



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá
Brasil

Pinheiro Lima, Ed; Luiz Gimenes, Marcelino; da Mota Lima, Oswaldo Curty
Estimação das emissões originadas de veículos leves na cidade de Maringá para o ano de 2005
Acta Scientiarum. Technology, vol. 31, núm. 1, 2009, pp. 43-50

Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226523006>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Estimação das emissões originadas de veículos leves na cidade de Maringá para o ano de 2005

Ed Pinheiro Lima^{*}, Marcelino Luiz Gimenes e Oswaldo Curty da Mota Lima

*Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: ed_p_lima@yahoo.com.br*

RESUMO. Este artigo adotou a metodologia da Cetesb para analisar as emissões dos principais poluentes dos veículos a álcool e a gasolina na cidade de Maringá, Estado do Paraná, no ano de 2005. A frota considerada é constituída pelos veículos cadastrados no Detran-PR com ano/modelo igual ou superior a 1980. Os fatores médios de emissão da Cetesb foram corrigidos pelos fatores de deterioração da Cetesb e do AP42. Os fatores de deterioração do AP-42 se mostraram mais adequados para representar o aumento nas emissões dos veículos, principalmente para veículos mais novos. A frota considerada apresentou maior concentração de veículos mais recentes a gasolina e o quase desaparecimento dos veículos a álcool. Veículos com ano/modelo inferior a 1988, representando apenas 9,90% da frota considerada, contribuíram com quase 35% das emissões de CO, 28% das emissões de HC e 17% das emissões de NOx no caso dos veículos a gasolina.

Palavras-chave: emissões veiculares, poluição atmosférica, Proconve.

ABSTRACT. Estimate of light duty vehicles' emissions in Maringá City in the year of 2005. In this paper, Cetesb's methodology is adopted to analyze the emissions of main pollutants from vehicles using alcohol and gasoline in the city of Maringá in the year of 2005. The considered fleet is constituted by the registered vehicles in the cadastre of Detran-PR with ear-model equal or superior to 1980. The average emission factors from Cetesb had been corrected by deterioration factors from Cetesb and from AP42. The AP-42's deterioration factors had shown to be more adequate to represent the increase in the emissions of the vehicles, mainly for new vehicles. It was observed that the considered fleet presents a higher concentration of more recent vehicles almost the gasoline and the disappearance of the vehicles the alcohol. It was observed fleet with year-model lower than 1988, representing only 9.90% of the considered fleet, contributed almost with 35% of the emissions of CO, 28% of the emissions of HC and 17% of the emissions of NOx in the case of the vehicles the gasoline.

Key words: vehicular emissions, atmospheric pollution, Proconve.

Introdução

Das fontes emissoras de poluentes presentes nos centros urbanos, os veículos de combustão interna representam uma das maiores preocupações. Mesmo com as tecnologias de redução de emissões que vêm sendo incorporadas aos veículos, o desenvolvimento urbano leva ao crescimento da frota de veículos e das distâncias percorridas, o que resulta em aumento significativo das emissões veiculares.

Apesar de os poluentes de origem veicular também se formarem em todos os processos de combustão, a produção de poluente por unidade de combustível queimado é maior nos motores dos veículos. Esta maior produção se deve a vários fatores, tais como a combustão não permanente, a atomização insuficiente do combustível e o sistema de refrigeração do motor,

que impede a queima por igual da mistura combustível (DE NEVERS, 1995; BAUMBACH, 1996). Além destes fatores, no trânsito urbano, os veículos estão submetidos aos eventos característicos do tráfego, como ultrapassagens, paradas e conversões. Estes eventos têm impacto significativo no consumo e na emissão de poluentes, por provocarem alterações na forma de operação do motor do veículo, e cada poluente tem um comportamento distinto de emissão. Vários trabalhos têm sido desenvolvidos para estudar esse impacto, dentre eles André e Hammarström (2000) estudaram o efeito da velocidade dos veículos, Várhelyi (2002) estudou os efeitos de rotatórias pequenas e Coelho et al. (2005) estudaram os efeitos dos semáforos.

Os principais poluentes emitidos pelos veículos de combustão interna são o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO₂), além dos aldeídos (RCHO), no caso da queima de etanol. Estes poluentes primários têm efeitos locais e regionais e, em condições meteorológicas favoráveis, proporcionam a formação de poluentes secundários na atmosfera, como o ozônio troposférico (O₃), cuja formação está associada aos hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NOx) (La Rovere et al., 2002). Além dos efeitos regionais, as emissões veiculares também apresentam efeitos globais, como o caso do efeito estufa, em que as emissões de CO₂ de origem veicular têm grande participação no aumento da concentração deste gás.

Diante do problema apresentado pelas emissões automotivas, o governo americano estabeleceu a redução gradativa das emissões no Clean Air Act (CAA70) no início da década de 1970, mas somente com o New Clean Air Act, no início da década de 1990, é que rigorosas exigências foram feitas aos automóveis para a redução de HC, CO, NOx e material particulado. No Brasil, o Conama instituiu o Proconve em 1986, com a base técnica da Cetesb, para contribuir no controle das emissões veiculares por meio da implantação gradativa de novas tecnologias, tendo sido responsável por uma redução significativa nos níveis de emissão veicular (IBAMA, 2004).

Neste estudo, a metodologia da Cetesb é adotada para estimar as principais emissões veiculares na cidade de Maringá, Estado do Paraná, para o ano de 2005. Este artigo apresenta a metodologia adotada, seguida pelos resultados das emissões estimadas, análises e suas conclusões.

Material e métodos

Neste estudo, serão analisadas as emissões para quatro poluentes, HC, CO, NOx e RCHO, para o ano de 2005, para veículos leves de passeio (VLP), usando dois tipos de combustível: álcool e gasolina C. Para a estimativa das emissões, foi adotada a metodologia da Cetesb, em que, para cada combustível, o cálculo das emissões (E) de cada espécie de poluente (p), em um determinado ano de estudo t , considera o número de veículos da frota circulante ($NV_{i,t}$), a distância média anual percorrida ($DM_{i,t}$) por esta frota e os fatores de emissão médios corrigidos de cada poluente ($FEC_{i,p}$), que são desagregados por ano de fabricação do veículo (i), conforme mostra a Equação (1).

$$E_{p,t} = \sum_i (NV_{i,t} \cdot DM_{i,t} \cdot FEC_{i,p}) \quad (1)$$

As seções seguintes tratam de cada uma dessas variáveis, com as considerações em relação à adaptação para a frota local. Inicialmente, é apresentado o perfil da frota considerada da cidade de Maringá, Estado do Paraná, para o ano de 2005. Em seguida, são abordados a distância média percorrida e os fatores de emissão médios corrigidos.

Perfil da frota considerada

As principais fontes de dados da frota nacional na literatura são as vendas no mercado interno da Anfavea e as informações do Anuário Estatístico dos Transportes (AET), com informações do Detran de cada Estado. Estas duas fontes podem fornecer dados com grandes discrepâncias entre si, como em situações de duplicidade nos registros entre Detrans de Estados diferentes.

A frota considerada para Maringá consiste nos veículos leves cadastrados no Detran-PR com ano de fabricação entre 1980 a 2005 (DETRAN-PR, 2006), sendo desconsiderados os veículos anteriores a 1980 e os bicompostíveis. Os veículos com ano de fabricação anterior a 1980 foram desconsiderados, porque o Detran-PR forneceu dados dos veículos desagregados por ano de fabricação somente a partir de 1980. No caso dos veículos bicompostíveis, estes foram desconsiderados por não haver um estudo para a cidade a respeito do percentual de uso de cada combustível neste tipo de veículo. No entanto, considerando a tendência de crescimento da quantidade deste tipo de veículo no mercado nacional, a frota de veículos bicompostíveis da cidade tem aumentado de forma significativa. Segundo o relatório de vendas no atacado da Anfavea (2006), as vendas dos veículos ditos *flex* no atacado têm superado as dos veículos a gasolina. Na Tabela 1, estão demonstradas a frota considerada e as percentagens de veículos desprezados; na Figura 1, é apresentado o perfil em relação ao ano de fabricação desta frota.

Tabela 1. Frota considerada.

Combustível	Frota cadastrada	Frota considerada	Veículos desprezados
Bicompostível	5.055	—	5.055 (100%)
Álcool	18.809	18.739	70 (0,37%)
Gasolina	111.735	100.635	11.100 (9,93%)
Total	135.599	119.374	16.225 (11,97%)



Figura 1. Perfil da frota considerada – ano 2005.

Da análise do comportamento da frota nacional em circulação de 1990 a 1994 no Brasil, feita em MCT (2002), foi observado o processo de envelhecimento da frota de veículos leves movidos a álcool, o crescimento de veículos leves movidos a gasolina e a diminuição da idade média da frota. De forma geral, este comportamento foi observado na frota considerada da cidade de Maringá. Além disso, ao se observar o perfil da frota na Figura 1, pode-se notar um nítido aumento dos veículos movidos a gasolina em relação aos veículos movidos a álcool com ano de fabricação a partir de 1989, refletindo a crise no abastecimento de álcool neste período.

Os dados da frota considerada foram agregados em quatro grupos, referentes às três fases do Proconve e à fase anterior ao programa, como pode ser visto na Figura 2. O que se pode notar de imediato é a idade relativamente nova da frota, com mais da metade dos veículos com ano de fabricação a partir de 1997 (início da fase III do Proconve), em grande parte representada por veículos movidos a gasolina. Esta grande quantidade de veículos pertencente à terceira fase do Proconve e, assim sendo, com melhor controle nas emissões, possibilita menor participação no total das emissões de poluentes.

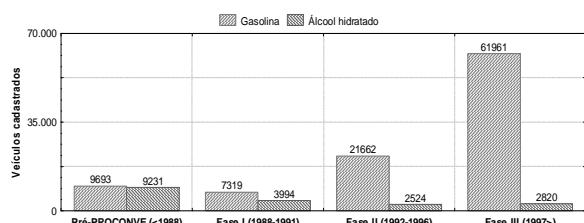


Figura 2. Frota considerada desagregada por combustível e fase do Proconve.

Para a estimativa das emissões, devem-se observar os veículos com o mesmo ano/modelo do ano em estudo, ou seja, $i=t$. Segundo o MCT (2002), neste caso deve haver ajuste para que as emissões deste ano não sejam superestimadas. Isto é feito considerando a idade média desses veículos como sendo de meio ano. A mesma consideração foi adotada no presente trabalho para a análise das emissões do ano de 2005.

É necessário observar que, dentre os veículos que circularam na cidade no ano de estudo, nem todos os pertencentes à frota cadastrada efetivamente circularam e que houve a circulação de veículos pertencentes a cidades vizinhas. Como não existem dados disponíveis referentes a esta consideração, foram usados somente os dados do Detran.

Distância média anual percorrida

Para a estimativa da distância média anual percorrida, no trabalho realizado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2002), foram adotadas as estimativas da Petrobras, que levam em consideração a idade do veículo, o preço do combustível e o nível de renda da população, já que, segundo os autores, não existem séries temporais oficiais em relação à distância média percorrida pelos veículos. Considerando que tais dados não se encontram disponíveis para a cidade de Maringá em anos anteriores, são adotados os valores estimados pela Cetesb da distância média anual percorrida em seus inventários. Estes valores, que são função da idade da frota, podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2. Valores da distância média percorrida adotados pela CETESB.

Idade (anos)	Dist. média anual (km)	Idade (anos)	Dist. média anual (km)	Idade (anos)	Dist. média anual (km)
Até 1	22.000	5	14.000	9	13.000
2	19.000	6	14.000	10	13.000
3	17.000	7	14.000	+11	9.500
4	15.000	8	13.000		

Essas distâncias médias foram determinadas pela Cetesb para a cidade de São Paulo em 1982 e podem não representar, necessariamente, a quilometragem observada nos dias de hoje. Além disso, a distância média dos veículos depende de como cada área urbana está organizada.

Para uma comparação com a distância média anual na cidade de Maringá, uma consulta a uma concessionária da cidade revelou que os veículos percorrem, no primeiro ano, 15.000 km em média, distantes, portanto, dos 22.000 km para São Paulo. No entanto, as informações originadas das concessionárias ficam restritas até o quarto ano de uso, sendo que, após este período, a manutenção passa a ser feita normalmente em oficinas mecânicas independentes. Apesar de os dados da concessionária fornecerem valores mais realistas das distâncias percorridas, estes só foram obtidos para o primeiro ano de uso, sendo, portanto, adotados, neste trabalho, os dados da Cetesb.

Fatores de emissão corrigidos

Os valores dos fatores médios de emissão adotados para HC, CO, NOx e RCHO, desagregados por ano/modelo e combustível (gasolina C e álcool hidratado), são os mesmos empregados pela Cetesb em seu inventário de emissões veiculares.

Como os fatores de emissão da Cetesb são referentes a veículos novos, estes fatores de emissão devem ser corrigidos por fatores de deterioração. As

emissões de HC, RCHO e CO tendem a aumentar conforme o uso do veículo, mesmo havendo manutenção adequada. Isto deve-se ao desgaste de peças e componentes, que afetam o funcionamento do motor. Estes fatores de deterioração representam o impacto desse desgaste do motor nas emissões em função do uso do veículo. A determinação dos fatores de emissão corrigidos (*FEC*) é feita mediante a correção dos fatores de emissão (*FE*) para cada poluente (*p*) pelos respectivos fatores de deterioração (*FD*).

$$FEC_p = FD_p \cdot FE_p \quad (2)$$

São adotados dois grupos de fatores de deterioração: os adotados pela Cetesb na elaboração de seus inventários e os do AP-42 da EPA (EPA, 1995). Os fatores de deterioração adotados pela Cetesb são baseados na EPA americana, sendo disponíveis fatores de deterioração (FD) para HC e CO para veículos a gasolina, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Fatores de deterioração adotados pela CETESB.

Ano de fabricação	HC	CO	NOx
Antes de 1977	$FD = \frac{7,50 + 0,18 \cdot Y}{7,50}$	$FD = \frac{78,27 + 2,5 \cdot Y}{78,27}$	1
Após 1977	$FD = \frac{4,43 + 0,25 \cdot Y}{4,43}$	$FD = \frac{56,34 + 2,5 \cdot Y}{56,34}$	1

Fonte: adaptado de MCT (2002).

Na Tabela 3, *Y* representa a razão entre a quilometragem acumulada e dez mil milhas. Segundo MCT (2002), o valor de *Y* é limitado a 6,21, porque o efeito da degradação nas emissões se estabelece após 100.000 km. Assim sendo, o valor de *Y* é dado por:

$$Y = \begin{cases} \frac{km_{acum}}{1,61 \cdot 10.000}, & \text{se } km_{acum} \leq 100.000 \\ 6,21, & \text{se } km_{acum} > 100.000 \end{cases} \quad (3)$$

Para cada poluente, os fatores de deterioração da Cetesb se dividem em veículos fabricados no país antes de 1977 e após 1977 (inclusive), que correspondem aos fatores de deterioração de modelos pré-68 e pós-68 fabricados nos EUA, respectivamente. Em relação ao NOx, o fator de deterioração é considerado igual a 1. Segundo o MCT (2002), isto deve à tendência da diminuição da emissão deste gás pelo desgaste dos anéis dos pistões e pela consequente diminuição da pressão dentro dos cilindros e da temperatura dos gases. No caso dos aldeídos (RCHO), neste trabalho foi considerado que a deterioração seja semelhante à dos hidrocarbonetos.

Segundo o MCT (2002), como a frota veicular é calculada para o final do ano, deve-se também aplicar o fator de deterioração nos veículos fabricados no último ano que, como visto anteriormente, têm vida média de meio ano. Para os veículos movidos a álcool, como seus padrões de emissão se assemelham aos dos veículos movidos a gasolina, serão usados os mesmos fatores de deterioração.

Uma consideração que deve ser feita em relação aos fatores de deterioração adotados pela Cetesb é que estes foram determinados para automóveis americanos com mais de 30 anos e sem dispositivos de controle de poluição. Este perfil, segundo Mendes (2004), está muito distante dos padrões de emissão e deterioração dos veículos nacionais mais recentes. Além disso, os fatores de deterioração da Cetesb são divididos para veículos antes e depois de 1977; no caso da frota considerada (a partir de 1980), a deterioração seria igual para todos os veículos, o que pode não ocorrer pela deterioração dos veículos mais recentes também incorporar a degradação dos sistemas de redução de emissões, em especial a do catalisador. Assim, os fatores de deterioração do AP-42 também foram adotados na estimativa das emissões.

Para a seleção dos fatores de deterioração, adotou-se o mesmo procedimento de Mendes (2004), em que os fatores de emissão de HC, CO e NOx para gasolina C foram comparados aos valores de ZML (emissão a zero milha) do AP-42, selecionando os mais próximos (em g km⁻¹), como pode ser visto nas Tabelas 4 a 6. Os fatores de deterioração foram escolhidos de forma a coincidir com as fases do Proconve. A partir dos valores de ZML, DR1 e DR2, o fator de deterioração (FD) é determinado pela equação (4).

$$FD = \frac{BER}{ZML} \quad (4)$$

$$BER = \begin{cases} ZML + DR1 \cdot Y, & \text{se } Y \leq 5 \\ ZML + DR1 \cdot 5 + DR2 \cdot (Y - 5), & \text{se } Y > 5 \end{cases} \quad (5)$$

em que:

FD: fator de deterioração;

BER: taxa de emissão básica da exaustão [g/mi];

ZML: emissão a zero milha [g/mi];

DR1: taxa de deterioração milhagem acumulada ≤ 50 K milhas [g/mi/10Km]; e

DR2: taxa de deterioração milhagem acumulada > 50 K milhas [g/mi/10Km].

Tabela 4. Fatores de deterioração da EPA – HC.

Cetesb	AP-42					
Ano de fabricação	Fator médio (g km ⁻¹)	Ano de fabricação	ZML (g mi ⁻¹)	ZML (g km ⁻¹)	DR1	DR2
1980-1987	2,600	1968-1969	4,43	2,75	0,250	0,250
1988-1991	1,500	1970-1971	3,00	2,86	0,370	0,370
1992-1996	0,560	1975-1979	1,06	0,66	0,280	0,280
1997-2000	0,153	1994	0,25	0,15	0,074	0,279
2001-2004	0,110	1998+	0,18	0,11	0,072	0,273

Fonte: elaborada a partir de dados de EPA (1995).

Tabela 5. Fatores de deterioração da EPA – CO.

Cetesb	AP-42					
Ano de fabricação	Fator médio (g km ⁻¹)	Ano de fabricação	ZML (g mi ⁻¹)	ZML (g km ⁻¹)	DR1	DR2
1980-1983	33,000	1968-1969	56,34	35,02	2,550	2,550
1984-1987	25,000	1970-1971	42,17	26,21	3,130	
1988-1991	14,625	1975-1979	17,72	11,01	2,460	
1992-1996	5,400	1980	6,09	3,78	1,958	1,958
1997-2004	0,640	1992+	2,15	1,33	1,448	3,434

Fonte: elaborada a partir de dados de EPA (1995).

Tabela 6. Fatores de deterioração da EPA – NOx.

Cetesb	AP-42					
Ano de fabricação	Fator médio (g km ⁻¹)	Ano de fabricação	ZML (g mi ⁻¹)	ZML (g km ⁻¹)	DR1	DR2
1980-1983	1,400	1968-1972	4,35	2,70	0,000	0,000
1984-1987	1,750	1973-1974	2,86	1,78	0,050	0,050
1988-1991	1,525	1975-1976	2,44	1,52	0,040	0,040
1992-1996	0,640	1980	1,50	0,93	0,102	0,102
1997-2000	0,243	1994	0,37	0,23	0,083	0,189
2001-2004	0,118	1996+	0,18	0,11	0,083	0,195

Fonte: elaborada a partir de dados de EPA (1995).

Resultados e discussão

Valores de emissão de HC, CO, NOx e RCHO foram estimados e foram traçados perfis de emissão em relação ao ano de fabricação dos veículos para HC, CO e NOx, contendo os valores obtidos para os fatores de deterioração adotados. Em seguida, foi procedida análise do impacto na adoção de cada grupo de fatores de deterioração para estes três poluentes. A partir da conclusão em relação ao grupo de fatores de deterioração a ser adotado, as emissões de HC, CO, NOx e RCHO foram agrupadas nas fases do Proconve para análise do impacto dos veículos pertencentes a cada fase no total estimado.

A partir das emissões de acordo com a idade da frota e o fator de deterioração adotado, foram traçados os perfis de emissão para o ano de 2005 para os três principais poluentes veiculares (HC, CO e NOx), desagregados por ano de fabricação, apresentados nas Figuras 3 a 5 para os veículos a gasolina e nas Figuras 6 a 8 para os veículos a álcool. Comparando as estimativas, é possível notar que as emissões dos veículos a álcool são pequenas, principalmente para veículos com ano de fabricação mais recente e que os fatores de deterioração do AP-42 apresentaram valores

mais altos em relação aos fatores de deterioração da Cetesb. Para melhor análise do impacto da quantidade de veículos nas emissões, o perfil da frota (álcool e gasolina) é traçado em cada gráfico.

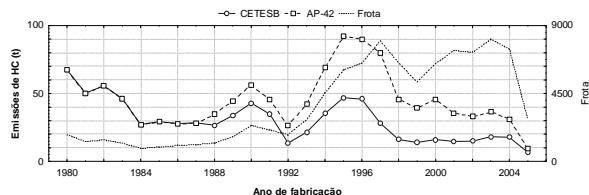


Figura 3. Perfil de emissões de HC – veículos a gasolina.

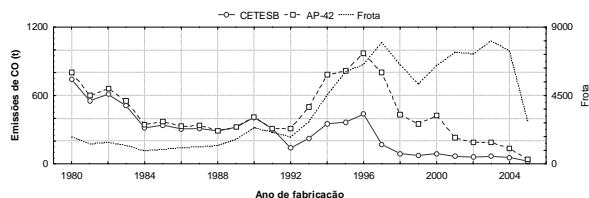


Figura 4. Perfil de emissões de CO – veículos a gasolina.

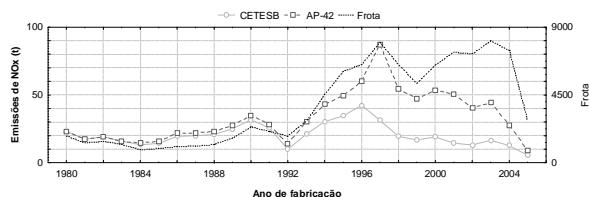


Figura 5. Perfil de emissões de NOx – veículos a gasolina.

A respeito das emissões dos veículos movidos a gasolina, mesmo com um número significativo de veículos com ano de fabricação a partir de 1992, existe menor contribuição nas emissões por parte destes veículos em relação à frota quando considerados os fatores de deterioração da Cetesb. No caso dos fatores de deterioração do AP-42, o que se observa é que as emissões aumentam de maneira mais acentuada com o número de veículos de cada ano de fabricação.

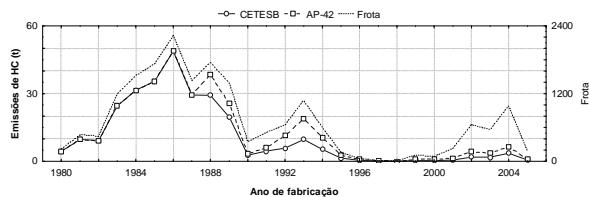


Figura 6. Perfil de emissões de HC – veículos a álcool.

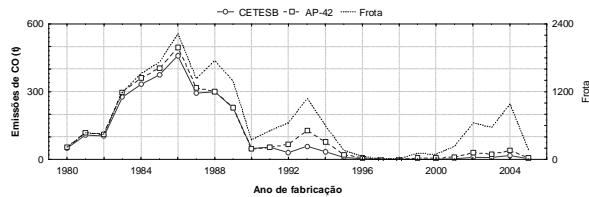


Figura 7. Perfil de emissões de CO – veículos a álcool.

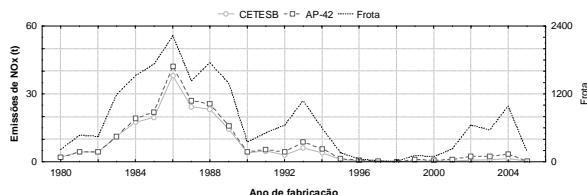


Figura 8. Perfil de emissões de NOx – veículos a álcool.

Em relação às emissões dos veículos movidos a álcool, não foram observadas diferenças tão significativas entre o uso dos fatores de deterioração da Cetesb e do AP-42. O que se destaca são duas situações distintas nas emissões. A primeira contempla os veículos com ano de fabricação de 1980 a 1988; a segunda, os veículos com ano de fabricação após 1988. A primeira situação é caracterizada por grande número de veículos dos anos de 1980 a 1986, seguido de redução drástica da quantidade de veículos de anos entre 1987-1990. Esta variação no número de veículos cadastrados se reflete nas emissões dos poluentes, principalmente em relação ao seu pico, com os veículos fabricados em 1986. Na segunda situação, há quantidade reduzida de emissões dos três poluentes, mesmo com crescimento da frota de veículos a partir de 2000.

A comparação entre os fatores de deterioração mostra que a maior diferença ocorre nos veículos mais novos. Os fatores de deterioração do AP-42 também foram adotados por serem mais abrangentes do que os adotados pela Cetesb, que foram determinados para automóveis americanos com mais de 30 anos e sem dispositivos de controle de poluição. A deterioração dos veículos novos é mais acentuada pelos sistemas de redução das emissões, como o catalisador. Os catalisadores têm vida útil de pelo menos 80.000 km, o que, segundo os valores de quilometragem anual da Cetesb, vistos na Tabela 2, ocorre com veículos com 4 a 5 anos de uso. Após o encerramento da vida útil do catalisador, o preço do equipamento novo pode inibir o comprador, que passa a escolher catalisadores com “meia-vida” (para 40.000 km) ou falsificados como alternativa. Este último caso consiste em um catalisador oco, sem o elemento cerâmico, o que, além de não reduzir as emissões, pode provocar aumento de até 20% no consumo.

Os gráficos anteriores demonstraram o quanto os fatores de deterioração têm impactos diferentes nos veículos mais novos. As Figuras 9 a 11 demonstram comparação do impacto dos fatores de deterioração da Cetesb e do AP-42 nos fatores de emissão para veículos novos dos três poluentes (HC, CO e NOx). Analisando os fatores de deterioração da

Cetesb, tem-se que um veículo de 1980 apresenta a mesma deterioração em relação aos fatores de emissão originais que um veículo de 2000, enquanto os fatores de deterioração do AP-42 têm impacto muito maior nos veículos mais novos. Especificamente, no caso do NOx, o impacto foi ainda mais significativo, já que o fator de deterioração da Cetesb para o NOx é igual a 1 pela consideração de que a deterioração do motor leva à diminuição nas emissões de NOx. Isto também é considerado pelo AP-42, mas somente nos veículos mais抗igos. De forma geral, os fatores de deterioração do AP-42 causam impacto maior nos veículos mais novos, refletindo, assim, a deterioração dos sistemas de redução de emissões.

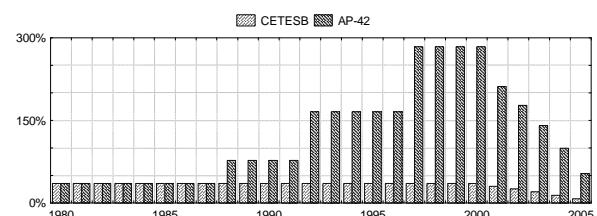


Figura 9. Impacto dos fatores de deterioração – HC.

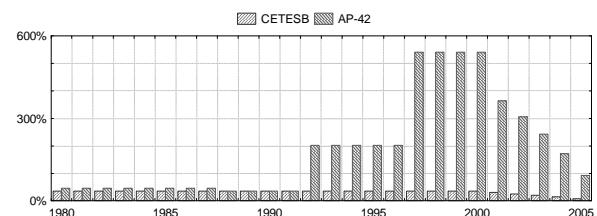


Figura 10. Impacto dos fatores de deterioração – CO.

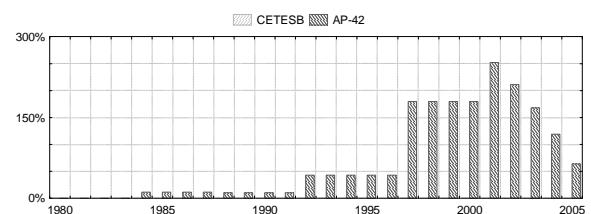


Figura 11. Impacto dos fatores de deterioração – NOx.

Os resultados de emissão obtidos pelos fatores de deterioração do AP-42 foram agregados por fases do Proconve, apresentados na Tabela 7. É possível constatar que cerca de 60% da frota a gasolina, pertencente a um estágio tecnológico de controle de poluição mais avançado (fase III), contribui de forma menos significativa nas emissões de CO, HC, NOx e RCHO, levando em conta sua maior participação na frota considerada. Além disso, verifica-se que, apesar de a frota considerada possuir apenas 10% dos veículos na fase pré-Proconve, foram observadas as maiores quantidades emitidas para HC e CO.

Tabela 7. Resumo dos resultados de emissões de 2005 para frota a gasolina.

	< 1988 (9,90%) ¹	Fase I (7,48%) ¹	Fase II (22,13%) ¹	Fase III (60,48%) ¹	Total (t)
CO	34,74%	11,58%	29,44%	24,24%	11.494
HC	27,95%	15,22%	26,89%	29,94%	1.188
NO _x	17,13%	12,98%	22,52%	47,37%	876
RCHO	16,16%	13,36%	38,97%	31,49%	37

¹Participação da frota a gasolina em cada fase.

Na Tabela 8, pode-se observar comportamento similar nas emissões para veículos a álcool, ou seja, maior participação de poluentes para veículos mais antigos. Deve-se levar em consideração que a participação maior nas emissões referentes à fase anterior ao Proconve seja também pela maior participação de veículos pertencentes a esta fase.

Tabela 8. Resumo dos resultados de emissões de 2005 para frota a álcool.

	< 1988 (49,71%) ¹	Fase I (21,51%) ¹	Fase II (13,59%) ¹	Fase III (15,18%) ¹	Total (t)
CO	67,07%	19,67%	9,40%	3,87%	3.224
HC	58,40%	22,28%	13,55%	5,77%	330
NO _x	61,31%	23,75%	9,67%	5,27%	216
RCHO	59,62%	25,24%	8,60%	6,54%	29

¹Participação da frota a álcool em cada fase.

Conclusão

Neste trabalho, a partir da frota cadastrada da cidade de Maringá, foram estimadas as emissões de HC, CO, NO_x e RCHO, por meio da metodologia da Cetesb. Esta estimativa foi ampliada pela comparação entre os fatores de deterioração adotados pela Cetesb e os fatores de deterioração do AP-42 da EPA americana.

Em relação à idade da frota, tem-se que a parcela mais significativa de veículos a gasolina pertence a um estágio tecnológico mais avançado e a parcela de veículos a álcool mais significativa se localiza em uma fase anterior ao Proconve. Os veículos desta fase apresentaram participação extremamente alta nas emissões em relação aos veículos de qualquer fase de controle de emissões, principalmente para os veículos a gasolina da terceira fase, com uma frota muito superior à frota sem controle tecnológico.

Diante deste fato, pode-se constatar a eficiência das tecnologias de controle das emissões, principalmente no caso de Maringá, que possui uma frota recente, ficando evidente que, mesmo em maior quantidade, os veículos mais recentes poluíram em menor quantidade.

Como o cálculo das emissões apresenta diversas ressalvas, deve-se ressaltar que é necessário adaptá-lo ao local em que se deseja quantificar as emissões. No caso da distância média percorrida, o que foi verificado para a cidade é que o valor para o primeiro ano corresponde a 70% do valor adotado para a cidade de São Paulo.

Uma alternativa a estes valores seria a pesquisa, nas concessionárias da cidade, dos valores dos quatro primeiros anos do veículo e, para os anos restantes, pesquisas direcionadas aos motoristas.

Em relação aos fatores de deterioração, os fatores da Cetesb foram determinados para veículos americanos de fins da década de 1960, e o uso dos fatores de deterioração do AP-42 neste trabalho permitiu aproximar melhor a deterioração dos veículos, principalmente para os mais recentes, que incorporam equipamentos de controle de emissão de poluentes.

Os veículos bicompostíveis, não considerados neste trabalho, podem apresentar dificuldades em estimar as emissões em decorrência do seu crescimento. Como os usuários têm a liberdade de escolher o combustível, em condições favoráveis de mercado, isso pode aumentar o consumo de álcool hidratado. Este aumento no consumo levaria à elevação nos níveis de emissão de aldeídos. Além disso, a liberdade de escolha também implica que, em cada veículo bicompostível, haja participação diferente de cada combustível. Isto dificultaria a estimativa das emissões para estes veículos, uma vez que se tornaria muito complexo obter e usar fatores médios de veículos bicompostíveis com várias misturas. Uma alternativa simplificada seria a estimativa das emissões provenientes destes veículos para as duas situações de combustível, somente com gasolina ou somente com álcool, adotando os valores máximos de cada situação.

Referências

- ANDRÉ, M.; HAMMARSTRÖN, U. Driving speeds in Europe for pollutant emissions estimation. *Transportation Research Part D*, v. 5, n. 5, p. 321-335, 2000.
- ANFAVEA-Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Vendas internas no atacado de nacionais/tipo de combustível**. São Paulo: Anfavea, 2006.
- BAUMBACH, G. **Air quality control**. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2005**. São Paulo: Cetesb, 2006.
- COELHO, M. C.; FARIAS, T. L.; ROUPHAIL, N. M. Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions. *Transportation Research Part D*, v. 10, n. 5, p. 323-340, 2005.
- DE NEVERS, N. **Air pollution control engineering**. Boston: McGraw Hill, 1995.
- DETRAN-PR-Departamento de Trânsito do Paraná. **Frota cadastrada no Município de Maringá**: posição

dezembro de 2005. Curitiba: Detran-PR/Divisão de Estatística, 2006.

EPA-Environmental Protection Agency. **Compilation of air pollutant emission factors: mobile sources**. v. 2. 1995. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>>. Acesso em: 25 ago. 2006.

IBAMA-Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – Proconve**. 2. ed. atual. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 2004. (Coleção Meio Ambiente, Séries Diretrizes – Gestão Ambiental, n. 2).

LA ROVERE, E. L.; SILVA, H. V. O.; MENDES, F. E; SZWARCFITER, L.; DUBEUX, C. B. S. **Avaliação do Proconve**: Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores. Rio de Janeiro: LIMA/Coppe/UFRJ/MMA, 2002.

MCT-Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissões de gases de efeito estufa no setor energético por fontes móveis**. 2002. Disponível em <http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/pdf/fontesm_p.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2005.

MENDES, F. E. **Avaliação de programas de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. 2004. 189f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

VÁRHELYI, A. The effects of small roundabouts on emissions and fuel consumption: a case study. **Transportation Research Part D**, v. 7, n. 1, p. 65-71, 2002.

Received on October 2, 2007.

Accepted on April 15, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.