

SP 08/96

NT 198/96

Contribuição para o estudo e controle da emissão de poluentes atmosféricos por automóveis em São Paulo

Arqº Edison de Oliveira Vianna Jr

1. Introdução

Devido aos baixos índices pluviométricos, o inverno de SP tem proporcionado condições atmosféricas desfavoráveis à dispersão de poluentes, com frequentes ocorrências de inversões térmicas, ocasionando a superação dos padrões mínimos admissíveis de qualidade do ar ZIONI (1994). A frota de veículos emite gases e material particulado de seus escapamentos, nocivos ao ser humano, e suspende poeira ao deslocar-se pelo clima árido do centro da cidade.

A dispersão desses gases depende de condições climáticas específicas, mas quando ocorre o fenômeno da inversão térmica a capacidade de dispersão fica bem limitada. Tal fenômeno ocorre quando uma camada de ar frio fica acima de uma camada de ar quente que permanece junto ao solo em posições invertidas, evitando sua elevação ou qualquer movimento vertical por convecção, aumentando a concentração de substâncias tóxicas próximo à superfície.

2. O papel da Engenharia de Tráfego

As questões ambientais requisitam de maneira crescente maior atuação da engenharia de tráfego (BRAZ (1993)), principalmente porque medidas institucionais para a contenção da poluição atmosférica urbana envolvem diretamente o tráfego e o cotidiano das pessoas em seus deslocamentos. O baixo investimento nos transportes coletivos e de massa, além de provocar um significativo aumento do uso do transporte individual, sobrecarrega os sistemas públicos existentes, causando a queda do nível de serviço. A perspectiva do aumento de utilização dos coletivos elétricos, que garantiriam uma atmosfera mais aceitável nos corredores da cidade e a expansão das linhas do Metro, que utiliza exclusivamente eletricidade, poderia proporcionar alternativas aos motoristas em futuras políticas de contenção do uso do automóvel, mas há mais de cinco anos não é inaugurada uma estação de metrô em SP.

Existem três aspectos na administração do tráfego que devem ser considerados:

- a) O papel da educação de trânsito é fundamental para que haja o engajamento da população às iniciativas públicas de esforço à contenção do uso do transporte individual além da manutenção adequada de seus veículos;
- b) Fiscalização da frota de maneira mais rigorosa com o instrumento da legislação existente;
- c) A engenharia de tráfego poderá cumprir papel significativo no controle das emissões dos veículos através de estudos de restrição de tráfego nas regiões críticas, estudos de classificação

de veículos conforme o nº de passageiros, fomento à campanha de incentivo às caronas e novas tecnologias de controle de tráfego (sistemas inteligentes, lombadas eletrônicas e sincronização de semáforos – ondas verdes). Os incansáveis estudos e projetos de obras e planejamento para melhorar o desempenho e a fluidez também fazem parte desse esforço em reduzir o tempo de viagem e congestionamentos – grandes responsáveis pelas toneladas de tóxicos despejadas desnecessariamente na atmosfera.

3. Os fabricantes de veículos

O desenvolvimento de pesquisas e tecnologias para que o produto saia da fábrica com menores níveis de emissão e provido de instruções adequadas para que o consumidor procure manter o veículo em condições satisfatórias ao longo do tempo são iniciativas ainda tímidas, pois sequer encontramos no mercado de autopeças equipamentos como filtros ou catalizadores adaptáveis aos modelos antigos.

A redução da emissão de poluentes proporcionada pela tecnologia é praticamente anulada pelo aumento da frota de veículos. Em cidades como Los Angeles e Nova York, apesar das inovações como catalisador e a injeção eletrônica, os níveis de emissão permaneceram os mesmos de 1976 até hoje ASSUNÇÃO (1995).

O futuro nas cidades será dos carros elétricos que não poluem o ar, são silenciosos e extremamente mais leves, pois tecnologia para tanto já é realidade.

As placas de silício capazes de captar a energia solar tão abundante em nosso clima tropical, e estão sendo aperfeiçoadas para que ocupem menor espaço com melhor desempenho, armazenando a energia em baterias para movimentação destes veículos.

4. A Legislação

O CNT trata da produção de fumaça para veículos movidos à diesel através da Resolução nº 510 de 15/02/77, que prevê multa para o veículo que expelir fumaça acima do padrão 2 da escala Ringelmann (conforme norma NB 225 da BNT), sendo que em altitudes acima de 500m admite-se o padrão 3. A escala Ringelmann considera a coloração do material expelido do escapamento no período de 5 segundos. A legislação estadual, Lei 997/76 regulamentada pelo Decreto 8,468/76, Seção II, art. 32 é mais restritiva, permitindo a emissão acima do padrão 2 apenas para partida a frio.

No mesmo Decreto, o Capítulo III define o Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição de Ar a ser executado pela CETESB e pela Coordenadoria Estadual de Defesa Civil – CEDEC. Uma resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA determina que o estado de atenção deverá ocorrer em 15ppm, já que o estado de emergência ocorrerá quando os medidores acusarem 40 ppm.

5. Os efeitos nocivos da fuligem

A combustão da gasolina e óleo diesel nos veículos automotores produz uma variedade de gases resultantes da queima completa destes combustíveis, como: CO – monóxido de carbono, HC – hidrocarbonetos, NOx – óxidos de nitrogênio, SO₂ – dióxido de enxofre e aldeídos LEHFELD (1978). Através de pesquisas realizadas durante os últimos 5 anos, o prof. Hilário Saldiva do laboratório de

poluição da faculdade de Medicina da USP mostra que o aumento da poluição atmosférica provoca a elevação dos índices de mortalidade principalmente entre crianças de até 5 anos e idosos com mais de 65.

6. As últimas ações institucionais

A CETESB adotou em caráter emergencial a Operação Rodízio, cujo principal propósito foi a redução da quantidade de veículos como medida para melhorar a qualidade do ar na região metropolitana da Grande SP. A medida, que contou principalmente com a cooperação dos cidadãos para que deixassem o carro em casa uma vez por semana, conforme o final da placa, no horário das 7h30 às 17h30. Os automóveis com finais 1 e 2 não circulariam dia 28/08, finais 3 e 4, no dia 20/08, finais 5 e 6, em 30/08, finais 7 e 8 em 31/08 e finais 9 e 0 no dia 01/09. Os resultados preliminares dessa Operação podem ser apreciados no Quadro 1, que contém o resultado de contagem em 30 minutos no pico da manhã na semana anterior e durante o rodízio. Note que a adesão foi realmente significativa (40,90% em média), porém o acréscimo dos demais automóveis quase substituiu os veículos de circulação restrita (9,90% para cada par, em média). A grande adesão na Av. paulista pode ser devido ao Metrô atendendo aos usuários, enquanto que os usuários da Av. Dr. Arnaldo não contam com essa alternativa (rumo a zona oeste).

Quadro 1

Contagem dos veículos de passeio nas semanas: anterior e durante a atividade do rodízio de placas – 21/08 a 1/09					
Dias da semana e datas	Final das placas com circulação restrita	Variação antes/depois dos automóveis restritos		Variação antes/depois dos demais automóveis	
		Paulista	Dr.Arnaldo	Paulista	Dr.Arnaldo
Seg. 21 e 28	Finais 1 e 2	61,50%	34,10%	2,30%	12,20%
Ter. 22 e 29	Finais 3 e 4	50,50%	26,70%	3,50%	7,50%
Qua. 23 e 30	Finais 5 e 6	53,00%	38,80%	8,00%	10,70%
Qui. 24 e 31	Finais 7 e 8	44,10%	36,00%	9,70%	3,80%
Sex. 25 e 01	Finais 9 e 0	4,80%	39,20%	42,00%	14,20%
	Médias	40,90	35,00%	9,90%	9,70%

Fonte: CET/SPR/GPV - Pesquisa

O Quadro 1 foi extraído de pesquisa de campo em apenas 2 dos 20 locais a serem aferidos, representando apenas 10% do universo pesquisado.

7. Modelos matemáticos de relações entre emissão de gases de veículos automotores e condições de tráfego.

Para construir inventários de emissão de transportes e para estimar os efeitos em emissões gasosas em projetos de mudança ou operação de sistemas urbanos é necessário converter informações sobre condições de tráfego e outras variáveis relevantes em emissão de veículos automotores. A conversão é obtida por meio de modelos matemáticos que relacionam níveis de emissão, condições de tráfego e outras variáveis. Dois tipos de modelos serão discutidos neste trabalho: modelos microscópios e modelos macroscópios. Os microscópios relacionam uma exaustão instantânea de veículo de gases HC, CO, e NOx emitidos por unidades de tempo para aquela velocidade ou aceleração espontânea correspondente. Os macroscópios relacionam a emissão total do veículo ou a emissão média por unidade de distância viajada (incluindo emissão por evaporação) durante uma viagem completa ou uma grande parte dela pela velocidade média do veículo nesse trecho. Modelos microscópios são apropriados para o uso em situações nas quais emissões detalhadas em curtas seções da via são necessárias e precisas informações das velocidades e acelerações dos veículos possam ser obtidas. É um exemplo desse caso a estimativa de emissão e concentração de CO na aproximação de interseção semaforizada.

Modelos macroscópios são apropriados para estimar médias de emissão de veículos motorizados em áreas geográficas que são suficientemente grandes para conter muitas viagens completas ou substancial parte delas. Exemplos dessas áreas são corredores e regiões urbanas. Tipicamente os dados detalhados de velocidade e aceleração que são necessários para operar modelos microscópios não podem ser obtidos para tais áreas, considerando que as informações das velocidades médias de viagens podem ser obtidas através de medidas diretas ou estimadas com modelos matemáticos computacionais. EMM2 e SATURN, por exemplo.

Um modelo macroscópico é desenvolvido através de dados obtidos pela medição de emissão de veículos que trafegam nos mais variados modos em dinamômetros apoiados nos seus chassis. Exemplos de modos de tráfego são listados na Tabela 1. As acelerações são constantes nos modos de aceleração e desaceleração listados. Supõem-se que o modo de tráfego tem duração t^{mode} e aceleração constante a . (Se o modo consiste em um estado contínuo de cruzeiro ou parado, então $a = 0$.) Supõem-se também que ao mesmo tempo $t \leq t^{mode}$ seguindo do início do modo, a velocidade é $s(t)$, fazendo $f_p(s, a)$ como notação da emissão instantânea p de poluente do veículo, em unidade de massa por unidade de tempo, expressada como função da velocidade e da aceleração. Sendo E_p^{mode} notação para a massa total de poluente p emitida durante o modo de tráfego. Então E_p^{mode} é dada por:

t^{mode}

$$E_p^{mode} = \int_0^{t^{mode}} f_p [s(t), a] dt$$

Para desenvolver um modelo microscópico de emissão, valores de E_p^{mode} para diferentes modos de tráfego são obtidos através de medições de emissão. A função f_p que não é conhecida a priori é então estimada por meio de análise de regressão ou outra técnica de ajuste de curvas. A função ajustada f_p constitui o microscópico modelo de relação entre a emissão instantânea de poluente, a velocidade e a aceleração instantânea.

Um exemplo de modelo microscópico de emissão é o *Automobile Exhaust Emission Analysis Model* que foi desenvolvido para a *US Environmental Protection Agency*. Neste modelo, a função f_p é especificada como:

$$f_p(s,a) = \sum_{m=0}^2 \sum_{n=0}^2 b_p(m,n) s^m n^a [1 - h(a)] + \sum_{m=0} C_p(m) s^m h(a), \quad (2)$$

onde:

$1 - a$, se $0 \leq a \leq 1,6 \text{ km/h/seg}$

$$h(a) = \{ 1 + a / 1,9 \leq a \leq 0 \text{ km/h/seg} \quad (3)$$

0, caso contrário

As quantidades $B_p(m, n)$ e $C_p(m)$ denotam coeficientes cujos valores são estimados por ajuste da função f_p para dados de emissão modal através de equação (1). Separados grupos de coeficientes são estimados para diferentes modelos e anos dos veículos. Os valores dos coeficientes são atualizados periodicamente para incluir os últimos modelos e para incorporar os efeitos da idade do veículo nas emissões. O modelo de análise modal aplica-se somente para descargas emitidas por veículos previamente aquecidos. Emissões de partida (causadas por partidas com motor frio ou quente) e emissões de outros veículos que não sejam automóveis não são tratadas. Emissões do carter poderiam ser tratadas pela exclusão de uma constante nos termos $b_p(0,0)$ e $C_p(0)$. Entretanto, não é usual que isso seja feito porque as emissões do carter de muitos automóveis são negligenciados (emissões do Carter são queimas de materiais de diferentes combustíveis).

Um fluxo de tráfego inclui veículos de muitos diferentes modelos e anos de fabricação. Entretanto, quando a equação (2) é utilizada para estimar a emissão de automóveis em fluxo de tráfego, $f_p(s,a)$ usualmente é computado como uma média ponderada das idades e quantidades dos veículos que compõem esse fluxo. Se p_i denota a densidade de automóveis cujo modelo do ano i no fluxo, e p denota a densidade total desse automóvel no tráfego, e a taxa de emissão instantânea em unidade de massa por unidade de tempo para poluente p dos automóveis de modelo e ano i , então a taxa ponderada de emissão, $f_p(s,a)$, é dada por:

$$f_p(s,a) = \sum_i (p_i / p) f_{pi}(s,a). \quad (4)$$

Modelos microscópios de emissão podem ser usados em conjunto com modelos de fluxo de tráfego para a estimação da distribuição espacial das emissões em interseções semaforizadas onde a composição dos modos de tráfego podem substancialmente ser diferentes das composições que ocorrem durante os deslocamentos. Modelos macroscópios podem ser usados para estimar emissões de viagens inteiras ou grande parte delas e requerem consideravelmente menos entrada de dados que modelos microscópios. Nestas aplicações, dados do volume de tráfego são obtidos de recursos exógenos, supridos como entrada do modelo de alocação de fluxo de tráfego. Os modelos de fluxo de tráfego são usados então para gerar dados de velocidade e aceleração que são necessários como input para modelos de emissão, e são necessários para converter níveis de emissão de veículos e agregá-los ao fluxo de tráfego.

Modelos macrascópios são uma alternativa à utilização de modelos microscópios, sacrificam detalhes espaciais mas que conseguem uma redução substancial nos dados necessários, utilizam a velocidade média da viagem completa ou grande parte dela (se extrapola os limites da região em estudo), para representar os efeitos da variação dos modos de tráfego. A emissão total ou a média dos níveis de emissão em massa / unidade / distância por toda viagem são estimadas como função do comprimento e velocidade média do deslocamento e outras variáveis relevantes como temperatura do ar, ocorrência de

partidas frias ou quentes, idade, modelo, ano, tipo de veículo e combustível utilizado pelos veículos envolvidos. Esta estimativa aproximada das emissões consiste no modelo macroscópico, ele não é capaz de estimar variações de emissão durante o desenvolvimento da viagem.

Sendo que $E_p^{trip}(s, L, X)$ denota a massa total de poluente p que é emitido durante uma viagem de média horária s e comprimento L , onde x denota todas as outras variáveis relevantes. Sendo $h_p(x)$ a massa de poluentes p que é emitida em emissão quente saturada a qual evapora ao final da viagem; $e_{1p}(s, x)$, a massa de emissão de escape ao ligar o veículo, que ocorre no início da viagem; $e_{2p}(s, x)$, a taxa de emissão de poluente p expelida, em unidade de massa por distância (g/km) através da operação estabilizando a quente durante a viagem. Finalmente, sendo $C_p(x)$ a taxa de poluente p de emissão do cárter em unidade de massa por distância. A massa total de poluente p que é emitida durante a viagem é:

$$E_p^{trip} = hp(x) + L C_p(x) + e_{1p}(s, x) + L e_{2p}(s, x) \quad (5)$$

Os dados correspondentes às características dos veículos devem ser obtidos através de contagens em campo e medições nas saídas dos escapes para identificação das substâncias, suas concentrações e modos de marcha e tráfego do veículo.

8. Conclusão

Seria de fundamental importância uma campanha para a instalação de filtros e catalisadores nos escapamentos de automóveis, interesse das próprias indústrias fabricantes de veículos que deveriam adequar seus produtos aos paradigmas do próximo milênio.

As inovações tecnológicas como o fax, o vídeo e a internet são inovações que permitem a redução de pessoas na cidade, possibilitando que o trabalho possa ser realizado sem sair de casa.

A pesquisa de combustíveis e misturas menos agressivas são importantes para a redução da poluição, bem como o aumento da utilização do álcool.

Alternativas em todas as esferas devem ser formuladas, inclusive no âmbito legal, onde se poderia implantar o IPVA progressivo aos proprietários que não proverem seus veículos de filtros catalisadores ou não submeterem seus veículos a vistorias para medição dos níveis de emissão. Outros estímulos econômicos à não poluição, como redução de impostos para investimentos em pesquisa e construção de filtros devem ser debatidos nos parlamentos e em todas as esferas de governo. A proposta do novo Código Nacional de Trânsito deve prever ações mais efetivas dos departamentos de trânsito e penalidades para veículos a gasolina que expelem mais poluentes.

Bibliografia

- CET (SP) - *Contagens realizadas de 21/8 a 1/9: pesquisa*. São Paulo: CET, 1995
- ASSUNÇÃO, João Vicente de. *Jornal da USP*, 28/8. São Paulo: 1995
- SALDIVA, Paulo Hilário. *Jornal da USP* 28/8. São Paulo, 1995.
- ZONI, Silvana. In *Anais ANPET*, 8. Recife: Editora universitária UFPE, 1994. 173p.
- BANISTER, David and BUTTON, Kenneth. *Transport, the environment and sustainable development* – London: E&Spon – 1993.
- BRAZ, José Tadeu. *Emissão de gases poluentes / curvas tipo*. São Paulo: CET, 1993 4p (Notas Técnicas 165)
- BRANCO, Samuel Murgel. *Energia e meio ambiente*. São Paulo – Moderna, 1990.
- ARMSTRONG, Alan – WRIGHT. *Urban transport: a world bank policy study*. Washington DC: Publication Department. World Bank, 1986.
- HOROWITZ, Joel. *Air quality analysis for urban planning*. Massachusetts: MIT, 1982.
- LEHFELD, Gilberto Monteiro. *Poluição aérea por veículos automotores*. São Paulo: CET, 1978 3p. (Notas Técnicas 2).
- THOMSON, J. Michael. *Great cities and their traffic*. London: Victor Gollancz Ltd, 1977.
- STERN, WOHLERS, BOUBEL, LOWRY. *Fundamentals of air pollution*. London: Academic Press Inc. 1973.

Arqº Edison de Oliveira Vianna Jr
Gerência de Desenvolvimento e Estudos Especiais da SPL/PR.
Colaboração:

- Engº Marcos Venícius Brito (SPR)
- Engº Fernando Gonçalves Salvador 9GPV/SPR)
- Engº Esteban Grau Comas (GPV/SPR)
- Bel. Regiane Chacon Codesseira (GPV/SPR)
- Engº José Tadeu Braz (GPV/SPR)
- Arqª Luiza Gomide de Faria Vianna (GDE/SPL).