

USO DE DADOS DE TRÁFEGO MODELADOS PARA ESTIMATIVA DA POLUIÇÃO VEICULAR NA CIDADE DE SÃO PAULO, BRASIL

Giovana Iara Ferreira Moser Toledo¹
Adelaide Cassia Nardocci¹

RESUMO

O município de São Paulo tem cerca de 7 milhões de veículos que são a principal fonte de emissão de poluentes atmosféricos, um importante problema de saúde pública. Diversos estudos têm apontado o uso de modelos para a avaliação da poluição veicular em áreas urbanas, tanto para análise do comportamento do tráfego e emissão como para estudo da dispersão de poluentes. O objetivo foi avaliar o uso dos dados de tráfego obtidos pelo EMME-2 para a avaliação da poluição veicular. O número de veículos nas vias foi simulado com o EMME-2 e, para o cálculo das concentrações de CO, NO_x e PM₁₀, foi usado o modelo CALINE-4. Os resultados evidenciam gradientes das concentrações dos poluentes veiculares estudados na região do centro expandido da cidade de São Paulo, identificando áreas críticas de poluição e, ainda, permitem avaliar a contribuição de cada tipo de veículo. Os resultados reforçam a importância do uso desses modelos para investigação da variação espacial da exposição da população a esses poluentes, bem como para o gerenciamento do tráfego e adoção de políticas públicas de saúde, de ambiente e de transporte. O estudo também evidenciou a necessidade de melhoria no levantamento das informações indispensáveis tanto para a entrada dos modelos como também para calibração e validação dos resultados.

Palavras-chave: poluição veicular, CALINE-4, tráfego, São Paulo

ABSTRACT

Use of modeled traffic data to estimate vehicular pollution in municipality of São Paulo, Brazil. São Paulo city has around 7 million vehicles, which are the main source of atmospheric pollutants; and it represents an important problem of public health. Several studies have pointed the use of models to evaluate vehicular pollution in urban areas and to analyze the traffic behavior and pollutants emission and dispersion. The aim of this study was to evaluate the use of traffic data obtained by EMME-2 to assess traffic-related human exposure. The number

¹ Universidade de São Paulo – USP. E-mail para correspondência: giovana_moser@yahoo.com.br

of vehicles was simulated using EMME-2 and in order to calculate CO, NO_x and PM₁₀ concentrations, the model CALINE-4 was used. Results show a gradient of pollutant concentration in the expanded center of Sao Paulo city and it highlights the importance of the development of detailed exposure assessment studies. It was also possible to identify polluted critical areas and evaluate the contribution for each type of vehicle. This information are important at traffic management and public policies. Besides, this study also shows the necessity of an improvement at the required information, not only for model inputs, but also for model validation and calibration.

Key words: vehicular pollution, vehicle emissions, CALINE-4, traffic, modeling

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a melhoria do controle das fontes industriais, o aumento da frota de veículos e as mudanças no uso e ocupação do solo têm colocado as emissões veiculares como a principal fonte de poluição do ar nas grandes cidades.

Os esforços e medidas de controle sobre as fontes industriais de poluição do ar empreendidas nas décadas de 1970 e 1980 reduziram a emissão dessas fontes. Por outro lado, o aumento substancial da frota de veículos resultante do crescimento populacional, da melhoria da qualidade de vida e da dependência do transporte individual nas grandes cidades e regiões metropolitanas, têm colocado a emissão veicular como a fonte mais importante de poluição do ar em áreas urbanas (Ribeiro e Cardoso, 2003; Hei, 2009).

Os veículos emitem grande quantidade e diversidade de substâncias, conhecidas como poluentes tóxicos. Todos esses compostos, além dos chamados compostos secundários, como ozônio, nitratos e ácidos orgânicos, podem causar efeitos adversos à saúde das pessoas (Hei, 2009).

A emissão de poluentes pelos veículos está relacionada ao tipo de veículo (leve ou pesado), tipo de combustível, idade, condições de manutenção, velocidade de deslocamento, entre outros, e é a principal fonte da variação intra urbana das concentrações de poluentes. Dados de monitoramento, em geral, não captam essa variação espacial. Estudos que examinaram os gradientes de concentração de poluentes no entorno de vias de alto tráfego mostram que as zonas de exposição podem variar de 50 a 1500m de distância, dependendo do poluente e das condições meteorológicas (Hei, 2009).

Fatores como o padrão temporal das atividades, condições meteorológicas, volume e o tipo de veículos, velocidade do trânsito, padrão do uso do solo, taxas das transformações químicas, entre outros, influenciam o grau com que a distribuição espacial e temporal dos indicadores reflete a exposição ao tráfego.

Os estudos envolvendo modelos têm crescido nos últimos anos, tanto para a avaliação da poluição veicular em áreas urbanas, como também para análise do comportamento do tráfego e da emissão e dispersão dos poluentes (Sbayti *et al.*, 2001; Kousa *et al.*, 2002; Hellén *et al.*, 2005; Smargiassi *et al.*, 2006; Loh *et al.*, 2009). Esses modelos, em geral, apresentam vantagens como, por exemplo, o menor custo e rapidez na elaboração e análise de cenários, constituindo-se em importantes ferramentas de planejamento, ainda que forneçam resultados menos precisos que as medições. Toledo e Nardocci (2011) apontam a possibilidade de utilização desses modelos para a avaliação tanto do tráfego quanto da exposição humana aos poluentes ambientais no município de São Paulo.

São Paulo é uma das maiores e mais desenvolvidas cidades da América do Sul, com cerca de 11 milhões de habitantes. A frota do município é de aproximadamente 7 milhões de veículos, com tendência crescente. A malha viária tem 18 mil quilômetros de vias e o gerenciamento do tráfego é realizado pela Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), criada em 1976. A CET realiza contagem diária do volume de veículos em 32 vias de trânsito rápido do município, nos horários de pico da manhã e tarde, e tem utilizado modelo EMME-2 de simulação do tráfego em suas atividades de planejamento.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) estima que 97,5% do CO e 96% do NO_x têm origem veicular (CETESB, 2008), o que corresponde à cerca de 1,5x10⁶ toneladas de CO e 3,5x10⁵ toneladas de NO_x emitidas na atmosfera por ano. A frota de São Paulo possui 16% de veículos movidos a álcool, o que a torna única quando comparada com a frota de grandes cidades estrangeiras.

No que se relaciona ao monitoramento da qualidade do ar, a cidade conta com uma rede composta por 12 estações que medem as concentrações de Material Particulado (PM₁₀), Dióxido de Enxofre (SO₂), Monóxido de Nitrogênio (NO), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Monóxido de Carbono (CO) e mais recentemente o Ozônio (O₃) (CETESB, 2008).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do uso dos dados de volume de tráfego nas vias do centro expandido do município de São Paulo gerados pelo EMME-2 para avaliação da poluição de origem veicular.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi avaliada a distribuição das concentrações de CO, NO_x e PM₁₀ emitidas pelos veículos na área do centro expandido da cidade de São Paulo. Essa área é composta por 2503 setores censitários, de acordo com a malha de setor censitário do Censo 2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de onde foram obtidas as informações sobre a população e indicadores socioeconômicos.

O cálculo da concentração de poluentes (CO, NO_x e PM₁₀) foi realizado por meio do modelo CALINE-4, que é um modelo de qualidade do ar de fonte linear desenvolvido pelo Departamento de Transporte do Estado da Califórnia, Estados Unidos da América (CALTRANS) e que permite estimar as concentrações de CO, NO_x e PM₁₀ emitidas pela frota de veículos com base nas equações de difusão gaussiana. Uma vez fornecidos os dados a respeito das fontes de emissão, dos dados meteorológicos, da geometria e coordenadas geográficas das vias, é possível determinar a concentração de poluentes para os receptores (Benson, 1992). Nesse modelo, as vias são divididas em *links* e as concentrações de poluentes para cada *link* são calculadas e, em seguida, somadas para determinação da concentração dos poluentes no ponto de exposição do receptor.

Foi utilizada uma versão modificada do modelo que permite o cálculo simultâneo para grande número de receptores. Essa versão foi cedida pelo Departamento de Epidemiologia da Universidade da Califórnia, Irvine (USA). O modelo, apesar de ter sido desenvolvido para a Califórnia, pode ser utilizado para qualquer área urbana, desde que seja alimentado com os dados locais.

Para o cálculo das concentrações de poluentes, foram utilizados valores médios do volume horário de veículos e as concentrações dos poluentes foram calculadas no centróide dos polígonos, chamado ponto de exposição, para todos os setores censitários localizados na região do Centro Expandido da cidade de São Paulo. Em cada ponto de exposição, o modelo considera a contribuição das vias existentes em um raio de 3 km do entorno. A concentração dos poluentes foi ajustada para a hora do dia (distribuição horária do número de veículos) e dia da semana (durante a semana ou final de semana).

O Setor de Planejamento de Transporte da CET tem utilizado o *software* canadense EMME-2, desenvolvido pela empresa INRO, para estudo do tráfego no município de São Paulo. Ele permite estudar a infra estrutura viária da região, representada por uma rede multimodal, utilizando um banco de dados que considera

a demanda e o tempo de viagens, levantamento socioeconômico por origem e destino, entre outros.

Para caracterização das emissões, foram utilizados os valores de volume de tráfego por categoria: veículos pesados (caminhões), veículos leves (carros movidos à gasolina, álcool e flex) e motocicletas. Foram considerados os valores medidos pela CET para as 32 vias de trânsito rápido e, para as demais, foram utilizados os dados de volume de tráfego obtidos por simulação a partir do modelo EMME-2. Todos esses dados foram fornecidos pela CET e combinados em uma base de ruas georreferenciada. Os fatores de emissão de poluentes utilizados, por tipo de veículo, são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Fatores de emissão dos poluentes por tipo de veículo.

Tipo de veículo	CO (g/km)	NOx (g/km)	MP₁₀ (g/km)
Gasolina	10,70 ⁽¹⁾	0,66 ⁽¹⁾	0,08000 ⁽¹⁾
Álcool	19,70 ⁽¹⁾	1,16 ⁽¹⁾	0,00221 ⁽²⁾
Flex	0,44 ⁽¹⁾	0,11 ⁽¹⁾	0,00221 ⁽²⁾
Diesel	15,00 ⁽¹⁾	10,74 ⁽¹⁾	0,57000 ⁽¹⁾
Moto	16,40 ⁽¹⁾	0,12 ⁽¹⁾	0,05000 ⁽¹⁾

Fontes: (1) CETESB, Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2005 (2006), (2) SILVA *et al.* (2009).

Em relação aos parâmetros meteorológicos utilizados no cálculo da dispersão dos poluentes, foi considerado o mês de janeiro como representativo do período de verão e o mês de junho como representativo do período de inverno para o ano de 2005. Os dados de classe de estabilidade atmosférica e altura da camada de mistura foram obtidos por meio do modelo “*Brazilian Regional Modeling System*” B-RAMS e foram fornecidos pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP).

Na análise dos resultados, foi realizada a comparação das concentrações de poluentes obtidas pelo CALINE-4 com os dados medidos pelas Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar (EMQA) da CETESB para o mesmo período. Foram realizadas correlações de Pearson, utilizando-se o *software* SAS. A localização dos setores censitários e das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar (EMQA) da CETESB está apresentada na figura 1.

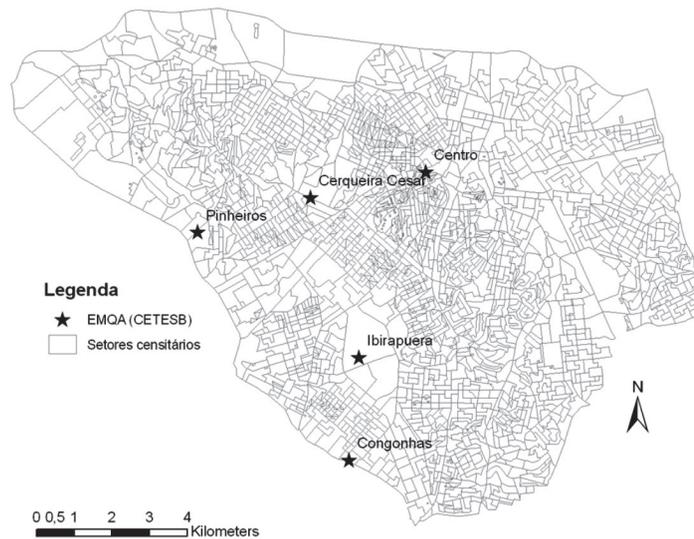


Figura 1. Localização das Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar (EMQA) da CETESB e dos setores censitários do Centro Expandido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2, são mostrados os valores médios diários das concentrações de CO , NO_x e PM_{10} calculadas pelo modelo CALINE-4, para todos os distritos censitários da área de estudo, e os valores médios medidos pelas EMQAs. A figura 2 apresenta a comparação entre os valores horários médios da concentração de CO simulados e os valores medidos pela EMQA para o mês de janeiro (verão) e junho (inverno).

Tabela 2. Comparação entre os valores diários médios da concentração de CO , NO_x e PM_{10} simulados pelo CALINE-4 e os valores medidos nas EMQAs.

Concentração Diária Média	CO (ppm)				NO _x (ppm)				PM ₁₀ (µg.m ⁻³)			
	VERÃO		INVERNO		VERÃO		INVERNO		VERÃO		INVERNO	
	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP
Simulada pelo CALINE-4	0,31	0,76	0,32	0,83	26,2	51,0	27,9	57,3	2,3	1,1	2,4	1,5
Medida pela EMQA	1,11	0,73	1,67	1,22	66,1	75,5	152,1	142,3	32,8	23,9	53	34,5

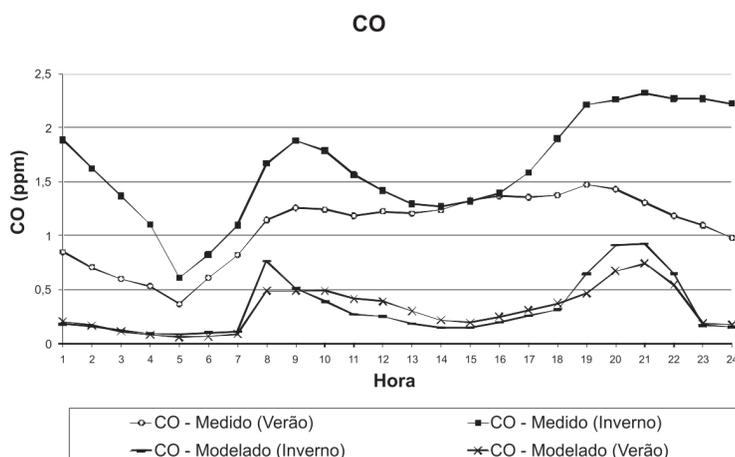


Figura 2. Comparação dos valores da concentração horária média de CO calculados pelo CALINE-4 e os valores medidos pelas EMQAs na região do Centro Expandido de São Paulo.

O comportamento das curvas modeladas e medidas, mostradas na figura 2, apresenta os dois picos característicos dos horários de pico do trânsito no período da manhã e início da noite. Em geral, os valores calculados pelo CALINE-4 são menores que aqueles medidos pela EMQA. Esse comportamento era esperado, uma vez que o modelo calcula apenas a emissão veicular e considera a contribuição apenas das vias existentes em um raio de 3 km no entorno de cada ponto de exposição.

A comparação das médias diárias mostrou uma baixa correlação, incluindo uma correlação negativa para o NO_x (Tabela 3). Foi realizada também a correlação entre as concentrações médias calculadas para os distritos censitários localizados em um raio de 3 km ao redor da estação de monitoramento da qualidade do ar. Essa análise foi realizada com a finalidade de verificar a habilidade do modelo de prever as concentrações de poluentes nos diferentes locais da área de estudo. Nessa análise, foram considerados os dados de 5 estações de monitoramento da qualidade do ar localizadas na área do centro expandido. No entanto, para o NO_x , havia dados apenas para 3 estações no período de verão e 2 estações no período de inverno. Os resultados mostraram uma correlação baixa, principalmente para o período de inverno (Tabela 3).

Tabela 3. Correlação entre dados de poluentes medidos e modelados.

	Correlação entre médias diárias de poluentes medidos e modelados		Correlação entre médias diárias de poluentes medidos e as médias modeladas, para um raio de 3 km no entorno da EMQA	
	Correlação	n	Correlação	n
CO verão	0,24	30	0,3	5
CO inverno	0,01	31	-0,5	5
NO _x verão	-0,39	30	0,5	3
NO _x inverno	-0,34	31	-	2
PM ₁₀ verão	0,13	30	0,6	5
PM ₁₀ inverno	0,17	31	-0,18	5

A baixa correlação encontrada pode ter resultado de fatores como a não consideração da frota de ônibus, as limitações do modelo de dispersão gaussiana utilizado, a não consideração da contribuição de vias além de 3 km de distância do ponto de exposição, as limitações dos dados de tráfego simulados pelo EMME-2 e, ainda, a pouca representatividade espacial dos dados medidos nas EMQA. Segundo a CETESB, a representatividade espacial das EMQA da região do centro expandido é da ordem de 100 metros no entorno da estação (CETESB, 2004a; CETESB, 2004b e CETESB, 2004c).

A figura 3 apresenta o gráfico da correlação entre os dados de tráfego medidos vs modelados. Ressalta-se que as medições de tráfego foram realizadas em apenas 2 horários (pico da manhã e noite) e ajustados para uma média diária, enquanto os dados modelados foram calculados para todas as horas do dia.

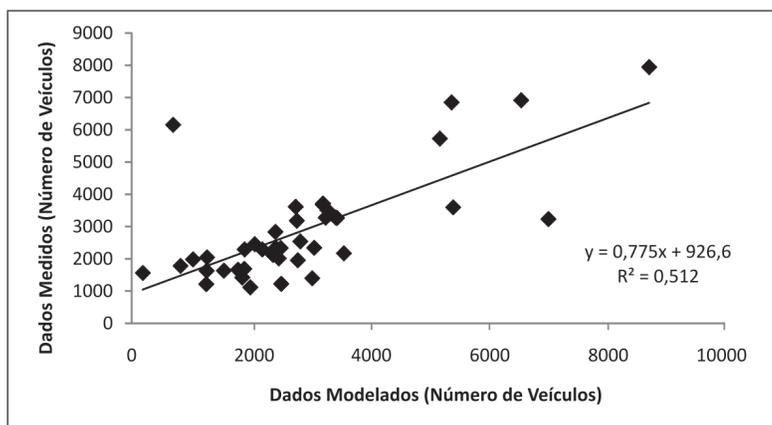


Figura 3. Comparação entre os dados de tráfego modelados e medidos.

Deve ser enfatizado que o número de pontos de volume de tráfego medidos é baixo e envolvem apenas as vias de trânsito rápido. Ressalta-se ainda que esses mesmos dados são utilizados pela CET para calibração do EMME-2. Essas incertezas devem ser consideradas durante a avaliação das concentrações de poluentes calculadas pelo CALINE-4, uma vez que esses são dados de entrada do modelo de dispersão de poluentes.

Embora os resultados da concentração de poluentes modelados tenham apresentado baixa correlação com os valores medidos pela EMQA e possam não ser representativos das concentrações reais de poluentes, estes permitem identificar áreas críticas de poluição na região estudada e avaliar a contribuição por tipo de veículo, informações relevantes para a elaboração de políticas públicas específicas. A composição da frota e a contribuição de cada tipo de veículo para os valores de concentração de poluentes medidos são mostrados na figura 4.

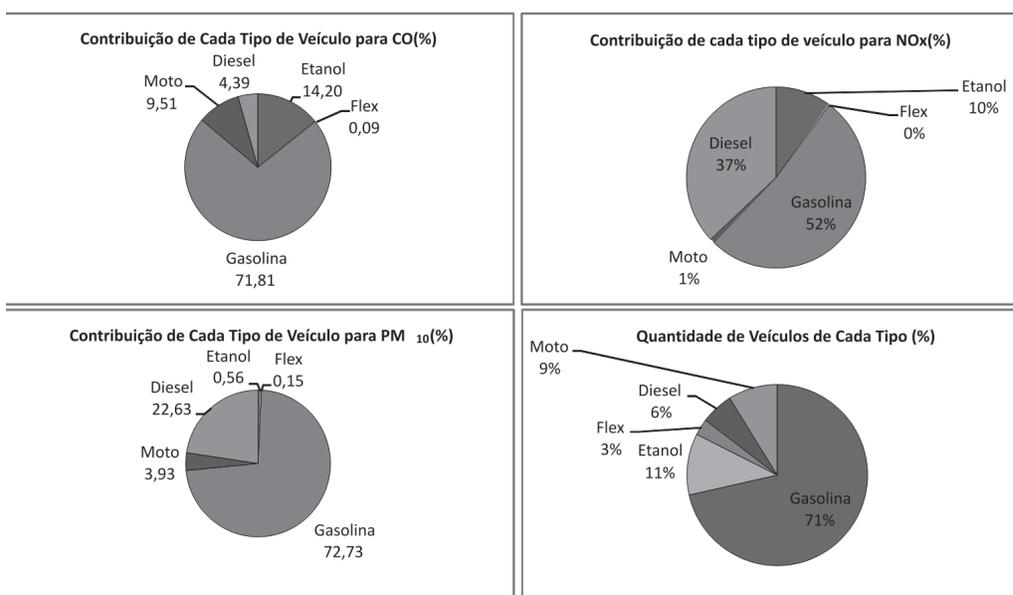


Figura 4. Distribuição percentual da contribuição por tipo de veículo para a concentração do poluente e da composição da frota.

Os veículos movidos à gasolina representam 71,81% da frota e são também os que mais contribuem para a poluição veicular. Os veículos movidos a diesel tiveram uma contribuição importante para o NO_x e PM₁₀, o que está associado aos maiores valores da emissão desses poluentes. É importante destacar que, nesse caso, não está sendo considerada a frota de ônibus o que pode alterar esses valores. Embora a

empresa São Paulo Transportes S.A. (SPTRANS) tenha fornecido uma malha viária com dados atualizados da frota de ônibus em circulação na cidade de São Paulo, esses dados não puderam ser integrados às informações da CET, pois as bases de logradouros utilizadas pelas empresas municipais eram distintas. Por outro lado, na simulação com o EMME-2, a CET não considera a frota de ônibus.

Outros aspectos relativos aos dados de volume de tráfego utilizados são a não calibração do EMME-2 para previsão do volume de veículos nas vias coletoras e locais e a não disponibilidade de dados medidos pela rede de radares existentes nas vias. Essas dificuldades com os dados sobre o volume de tráfego introduzem limitações importantes no uso destes para avaliação da poluição veicular e precisam ser superadas a fim de viabilizar estudos mais adequados da exposição e do impacto da poluição à saúde das pessoas.

Os resultados encontrados também demonstram que a contribuição da emissão de CO (9,51%) e PM₁₀ (3,93%) pelas motos não pode ser desconsiderada. Isso se deve não apenas ao crescimento da frota nos últimos anos, mas, também, à ausência de sistema de filtração dos poluentes emitidos. Também deve ser destacado que a emissão de veículos movidos a etanol foi maior que a contribuição dos chamados veículos flex em virtude do tamanho da frota e também da melhoria dos sistemas de controle de emissão existentes nos veículos mais novos.

Mesmo sem considerar a frota de ônibus, os veículos a diesel tiveram uma contribuição importante para o NO_x (37%) e PM₁₀ (23%). As maiores concentrações de poluentes, provenientes de emissões veiculares, foram observadas na área central do município de São Paulo.

No que se relaciona a distribuição espacial dos poluentes, verificou-se que as maiores concentrações de CO calculadas foram observadas nas regiões central e sul da área estudada, como mostrado nas figuras 5 e 6, onde há um maior adensamento das vias com grande número de veículos circulantes todos os dias, evidenciando variações significativas nos valores de concentração de poluentes nessa área, os quais podem resultar em diferentes valores de exposição e de risco para a população residente no local. Além disso, nota-se que a distribuição espacial das concentrações de CO, NO_x e PM₁₀ foram similares no período de verão e do inverno.

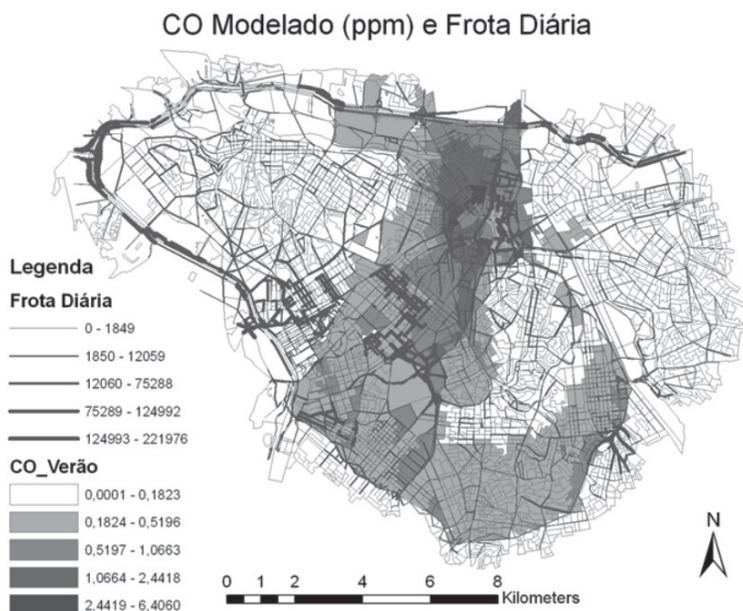


Figura 5. Distribuição do CO modelado para o mês de verão e malha viária com dados de volume diário de veículos.

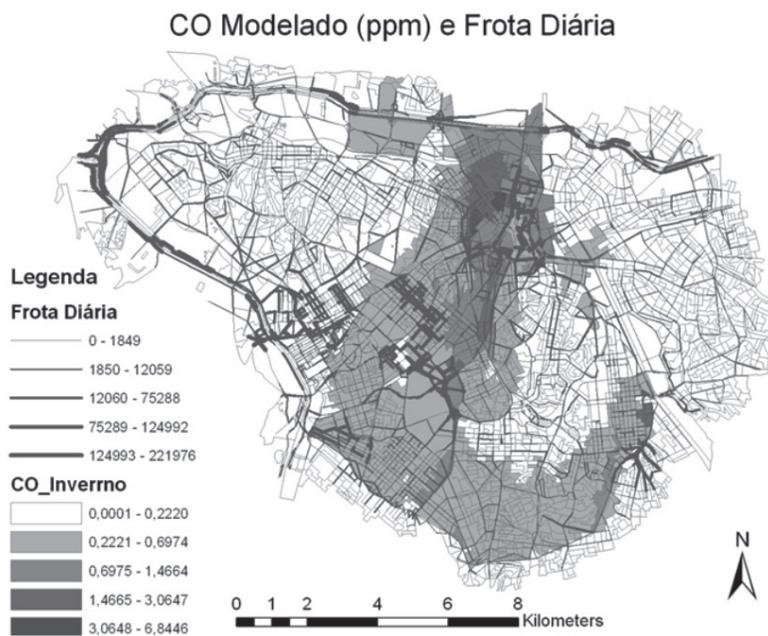


Figura 6. Distribuição do CO modelado para o mês de inverno e malha viária com volume diário de veículos.

Diversos trabalhos utilizaram o modelo EMME-2 para estudos da poluição veicular (Hellén *et al.*, 2005; Smargiassi *et al.*, 2006; Kauhaniemi *et al.*, 2008; Davies, 2009), os quais também compararam os dados obtidos pelo EMME-2 e os dados medidos. As correlações obtidas, nesses trabalhos, variaram de moderada a alta (0,53 e 0,86) (Kauhaniemi *et al.*, 2008; Davies, 2009).

Davies (2009) estudou o ruído e a poluição do ar (NO_2 e NO_x) relacionados ao tráfego e a associação desses dois parâmetros com as doenças cardiovasculares e encontrou uma correlação moderada, entre 0,53 e 0,64 para as concentrações de poluentes modeladas e medidas.

Em outro estudo, os resultados obtidos pelo programa EMME-2 também foram utilizados como fonte de dados de tráfego, a fim de calcular as concentrações de $\text{PM}_{2,5}$ em quatro áreas distintas na Finlândia. O coeficiente de Pearson calculado para a correlação entre os dados medidos e modelados variou entre 0,51 e 0,77 (Kauhaniemi *et al.*, 2008). Em outro estudo utilizando os dados de tráfego simulados pelo EMME-2, foi estimada a correlação entre a intensidade de tráfego e as admissões hospitalares por doenças respiratórias em pessoas idosas (>60 anos). Os resultados mostraram que idosos residentes em locais próximos às ruas de maior tráfego têm maior risco de serem hospitalizados por doenças respiratórias. Embora tenha encontrado correlação entre as admissões hospitalares e a intensidade veicular, o trabalho não reportou a correlação entre os dados de tráfego medidos e modelados (Smargiassi *et al.*, 2006).

Trabalho de Hellén *et al.* (2005) em Helsinki, também utilizou o EMME-2 para obter dados qualitativos sobre a distribuição espacial e temporal do benzeno. As concentrações de poluentes modeladas foram comparadas às médias anuais. Os autores consideraram que os resultados de benzeno modelados estavam de acordo com os objetivos do trabalho, embora os dados calculados tenham sido menores que os medidos, o que foi justificado pela não consideração, no modelo, das fontes de emissão evaporativas e combustão de madeira.

A pouca representatividade espacial dos dados medidos pelas estações de monitoramento é um aspecto relevante que pode ter influenciado as correlações encontradas neste trabalho. Para as EMQAs localizadas na região do centro expandido, a CETESB estima que os dados são representativos apenas para uma área de 100 metros do entorno da estação. Isso significa dizer que os dados medidos não apresentam boa correlação com os dados de tráfego da área do entorno da estação, o que também pode explicar a baixa correlação encontrada nesse estudo (CETESB, 2004a; CETESB, 2004b; CETESB, 2004c).

A rede de monitoramento da qualidade do ar da cidade de São Paulo foi implantada no início da década de 1980 quando o objetivo principal era o controle das fontes industriais e, desde então, a localização das estações não foi reavaliada, sendo, atualmente, segundo a CETESB, mais representativa da poluição de *background*. Destaca-se ainda que os dados de monitoramento também podem não ser adequados para representar a exposição média da população à poluição do ar na cidade de São Paulo e a ampliação e reavaliação da localização da rede de monitoramento da qualidade do ar é uma questão de grande relevância atual. Como já enfatizado por Toledo e Nardocci (2011), a melhoria da qualidade dos dados de entrada dos modelos é um fator importante para viabilizar a sua aplicação sistemática em estudos de poluição veicular no município de São Paulo.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse estudo corroboram com outros estudos similares encontrados na literatura. O Brasil, como outros países em desenvolvimento que apresentaram, nas últimas décadas, um rápido e desordenado crescimento das regiões urbanas, em particular, nas áreas metropolitanas, enfrenta ainda dificuldades de recursos técnicos e financeiros para ampliar as redes de monitoramento da qualidade do ar e também de monitoramento automático do tráfego. Nesse caso, como mostrado nesse estudo, o emprego dos modelos apresenta-se como alternativa importante para fornecer subsídios ao planejamento das ações de saúde, transporte e ocupação do solo.

Por outro lado, a falta e/ou pouca qualidade das informações disponíveis, a dificuldade do acesso às informações coletadas ou à falta de integração entre as diversas bases de dados colocam limitações importantes. No caso da cidade de São Paulo, embora o tráfego seja responsável por cerca de 90% da poluição do ar, os dados de volume de veículos nas vias são escassos. A rede de monitoramento da qualidade do ar é pouco representativa em termos espaciais, monitora poucos parâmetros e apresenta, muitas vezes, longos períodos de ausência de dados.

Deve ser considerado que a melhoria dos dados de volume de veículos é uma alternativa mais rápida e barata, em curto prazo. Isso quando comparado à ampliação da rede de monitoramento da qualidade do ar, especialmente se levado em conta a existência dos radares que permitem a contagem automática do número de veículos gerando, portanto, uma base de informações mais realistas do tráfego

nas vias. Por outro lado, a validação dos resultados da simulação com o modelo CALINE-4, em curto prazo, demanda a realização de experimentos específicos de coleta e amostragem dos poluentes representativas das variações espaciais e temporais observadas.

Os valores das concentrações de poluentes calculados pelo CALINE-4 foram menores que os valores medidos nas EMQA. Essa diferença pode estar relacionada a vários fatores, tais como a não inclusão nos dados de entrada da emissão da frota de ônibus e as limitações dos dados de volume de tráfego simulados pelo EMME-2, as especificidades do modelo de dispersão gaussiana; a não consideração da contribuição de vias além de 3 km de distância do ponto de exposição e a pouca representatividade espacial dos dados de monitoramento que resulta em uma baixa correlação dos dados medidos nas EMQA com o trânsito na área. Os resultados encontrados evidenciam gradientes nas concentrações dos poluentes de emissão veicular na área do centro expandido da cidade de São Paulo e reforçam a importância da realização de estudos mais detalhados da exposição da população e do impacto desta na saúde das pessoas.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Jun Wu, da Universidade da Califórnia – Irvine, por ter cedido o modelo CALINE-4 modificado e por ter dado as instruções a respeito da sua utilização. A CET e ao IAG, pelos dados fornecidos para o estudo. À CAPES, pela concessão de bolsa do Programa de Desenvolvimento de Estágio no Exterior (Processo BEX-2213-07-09).

REFERÊNCIAS

- BENSON, P. E. 1992. A review of the development and application of the CALINE 3 and 4 models. *Atmospheric Environment*, **26**:379-390.
- CETESB, Companhia Tecnológica de Saneamento Ambiental. 2008. Relatório da qualidade do ar no estado de São Paulo 2007. São Paulo: CETESB, 298p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_geral.asp>. Acesso em: 6 fev. 2009.
- CETESB, Companhia Tecnológica de Saneamento Ambiental. 2006. Relatório da qualidade do ar no estado de São Paulo 2005. São Paulo: CETESB, 153p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_geral.asp>. Acesso em: 10 mar. 2008.

CETESB, Companhia Tecnológica de Saneamento Ambiental. 2004a. Caracterização das estações da rede de monitoramento da qualidade do ar na RMSP – Estação Congonhas. São Paulo: CETESB, 64p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>>. Acesso em: 7 fev. 2010.

CETESB, Companhia Tecnológica de Saneamento Ambiental. 2004b. Caracterização das estações da rede de monitoramento da qualidade do ar na RMSP – Estação Cerqueira César. São Paulo: CETESB, 51p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>>. Acesso em: 7 fev. 2010.

CETESB, Companhia Tecnológica de Saneamento Ambiental. 2004c. Caracterização das estações da rede de monitoramento da qualidade do ar na RMSP – Estação Ibirapuera. São Paulo: CETESB, 66p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/r/publicacoes.asp>>. Acesso em: 7 fev. 2010.

DAVIES, H. W. *et al.* 2009. Correlation between co-exposure to noise and air pollution from traffic sources. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, **66**: 347-350.

HEI, Health Effects Institute. 2009. **Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects**. Boston, Massachusetts: HEI, 386 p. (Special Report 17)

HELLÉN, H. *et al.* 2005. Evaluation of atmospheric benzene concentrations in the Helsinki metropolitan area in 2000-2003 using diffusive sampling and atmospheric dispersion modeling. **Atmospheric Environment**, **39**:4003-4014.

KAUHANIEMI, M. *et al.* 2008. Evaluation of a modelling system for predicting the concentrations of PM_{2.5} in an urban area. **Atmospheric Environment**, **42**:4517-4529.

KOUSA, A. *et al.* 2002. A model for evaluating the population exposure to ambient air pollution in an urban area. **Atmospheric Environment**, **36**:2109-2119.

LOH, M. M. *et al.* 2009. Intake fraction distributions for benzene from vehicles in the Helsinki metropolitan area. **Atmospheric Environment**, **43**:301-310.

RIBERIO, H.; CARDOSO M. R. 2003. Air pollution and children's health in São Paulo (1986-1998). **Social Science & Medicine**, **57**:2013-2022.

SBAYTI, H. *et al.* 2001. Automotive emission in developing countries: traffic management and technology control measurements. **Environmental Engineering Science**, **18**(6):347-358.

SILVA, M. F. da *et al.* 2009. Characterization of metal and trace element content of particulate matter (PM10) emitted by ethanol and gasohol powered vehicles. In: 1ST IBERO-AMERICAN MEETING ON TOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL HEALTH, 2009, Ribeirão Preto. CD-Rom.

SMARGIASSI, A. *et al.* 2006. Traffic intensity, dwelling value and hospital admissions for respiratory disease among the elderly in Montreal (Canada): a case-control analysis. **Journal of epidemiology community health**, **60**:507-512.

TOLEDO, G. I. F. M; NARDOCCI, A. C. 2011. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, **14**(3):445-54.