

ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE POLUENTES DOS AUTOMÓVEIS NA RMSP CONSIDERANDO AS ROTAS DE TRÁFEGO

Autor: Marcelo Camilli Landmann
Aluno de doutorado do PROCAM/USP – Programa de Ciência Ambiental
Universidade de São Paulo

1. Introdução

A poluição atmosférica consiste em um dos problemas mais graves em termos de qualidade de vida na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Ela é resultante de um somatório de fatores geográficos, climáticos e antropogênicos, e seus efeitos nocivos são percebidos pela população através de doenças, principalmente cardíaco-respiratórias, e na deterioração dos materiais.

A partir da década de 1960 na Europa e nos EUA, cresceu muito a preocupação com os problemas ambientais, o que deu início a movimentos que pressionaram politicamente os governos para aumentar a rigidez no controle das emissões de poluentes e na utilização dos recursos naturais. Muito se avançou em termos tecnológicos a partir de então: no desenvolvimento de novos equipamentos de controle de emissões e na mudança nos processos industriais. No Brasil, apesar da legislação ambiental existente e de programas de controle da qualidade do ar, ainda é alta a concentração de gases tóxicos e material particulado nas grandes aglomerações urbanas, em especial na Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, maior aglomeração urbana do país e da América do Sul, que compreende 39 municípios e forma uma área conurbada de 1051 km² com aproximadamente 17 milhões de habitantes.

O monitoramento da qualidade do ar tem relevada importância para a definição de políticas de abatimento da poluição atmosférica. É através da rede de monitoramento que se pode constatar a evolução das concentrações dos poluentes e aferir a eficácia dos processos de controle de emissões. No estado de São Paulo, a CETESB possui rede de monitoramento da qualidade do ar instalada na RMSP e em algumas cidades do interior, composta por 24 estações fixas de amostragem e 2 estações móveis, sendo que 22 locais de amostragem estão situados na RMSP e dois na área de Cubatão (CETESB, 2001). Este sistema conta com equipamentos sofisticados, constituindo-se na maior e mais moderna rede de monitoramento da qualidade do ar do país. Os dados resultantes das amostragens são utilizados para diversos estudos técnicos e científicos e também para definição e acompanhamento das políticas de controle da qualidade do ar nas regiões onde foram implantados.

Entretanto, para se ter uma total compreensão dos problemas causados pela poluição do ar, se faz necessário saber onde ocorrem os valores máximos das concentrações de gases e material particulado e quais as concentrações nos locais onde as pessoas estão mais expostas, o que nem sempre coincide com o ponto geográfico onde foram instaladas as

estações de monitoramento, mesmo porque, dependendo da hora, do dia, das variações climáticas ou de mudanças nos padrões das atividades urbanas, os níveis e os locais de máxima concentração de poluentes também variam. Isso para a RMSP faz uma grande diferença, já que ela ocupa uma área total de cerca de 8.000 km². Seria técnica e economicamente inviável manter uma rede de monitoramento da qualidade do ar que compreendesse a totalidade dos fenômenos relativos à poluição do ar em toda a região.

Por isso é que os modelos matemáticos de dispersão de poluentes atmosféricos são tão eficientes e indicados. Através deles, é possível construir cenários simulados das concentrações de poluentes atmosféricos, e utilizá-los para saber o risco a que as pessoas estão expostas nos locais receptores, tais como, escolas, hospitais, bairros com alta incidência de doenças respiratórias, vales, proximidades dos corredores de transportes, regiões com baixa ventilação etc. Uma outra vantagem dos modelos matemáticos é a possibilidade de se analisar, através de variações nas taxas de emissões, quais seriam os impactos futuros de políticas de prevenção da poluição do ar.

Porém, para a RMSP, os dados relativos ao inventário de emissões utilizados pelos modelos matemáticos ainda são muito agregados, e assim, fica comprometida a precisão dos resultados das simulações quanto às concentrações finais dos poluentes atmosféricos. Isso acontece com os dados referentes tanto às emissões das fontes fixas, quanto às emissões das fontes móveis.

As fontes móveis – especificamente os automóveis, representam hoje a maior parcela das emissões de poluentes na RMSP (CETESB, 2001), e são o objeto de estudo desse trabalho.

Os dados referentes às emissões veiculares no inventário da CETESB são apresentados em toneladas/ano para a RMSP, ou seja, de forma muito agregada, e a partir deles, não é possível estimar as diferenças intra-urbanas nas emissões, segundo os carregamentos de tráfego na malha viária. Em consequência disso, no modelo de dispersão de poluentes, as emissões são representadas como se toda a frota de automóveis estivesse igualmente distribuída na RMSP e emitisse poluentes uniformemente por todo o território, o que na prática não acontece.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para estimativa das emissões de poluentes dos automóveis na RMSP a partir das rotas de tráfego, e assim, obter uma melhor distribuição das emissões considerando as diferenças intra-regionais e intra-urbanas. Para isso, partimos dos carregamentos de tráfego na malha viária calculados através do software de simulação e planejamento de transportes chamado EMME/2.

2. Descrição da metodologia proposta

Primeiramente, faremos um breve comentário sobre como os dados do inventário de emissões veiculares são obtidos e como eles são utilizados no modelo de dispersão de poluentes atmosféricos CIT (*Californian Institut of Tecnology*), que é o modelo utilizado para estudar os fenômenos relativos à poluição do ar na RMSP, no IAG/USP.

2.1. O inventário de emissões veiculares

Os dados do inventário de emissão veicular da CETESB (Murgel, 1987) foram calculados segundo a seguinte equação:

$$E_p = F E_p \times km \times N \quad E-6$$

onde,

E_p = emissão do poluente considerado para a frota (ton/ano)

$F e_p$ = fator de emissão da frota para o poluente de interesse (g/km)

km = média geral da quilometragem rodada anualmente (km)

N = número de veículos da frota.

Os fatores de emissão para veículos novos são obtidos no Laboratório de Emissão Veicular da CETESB, seguindo a norma NBR-6601, com metodologia semelhante à vigente nos EUA. Para os demais veículos é aplicado um fator de correção chamado Fator de Degradação (FD), que é obtido segundo procedimento definido pela norma NBR-6601. A média geral da quilometragem rodada foi adotada segundo a norma americana US-EPA e também através de pesquisa junto a motoristas brasileiros em relação à quilometragem acumulada no odômetro em um ano, chegando-se à seguinte tabela:

Tabela 1 – Media Geral da Quilometragem Anual

Tipo de veículo	km/ano
gasolina	12.000
álcool	18.300
diesel	80.000
táxi	60.000
Motocicletas e similares	12.000

Fonte: CETESB

Os dados referentes à evolução da frota de veículos automotores são extraídos do relatório do Ministério dos Transportes para a RMSP e do DENATRAN. Atualmente a frota de automóveis em São Paulo está em 5,7 milhões de veículos.

Os resultados destes cálculos são aqueles apresentados nos relatórios anuais de emissões da CETESB, em toneladas de poluentes/ano.

2.2. As emissões veiculares no modelo de dispersão atmosférica CIT (*Californian Institut of Tecnology*)

Os dados referentes às emissões são calculados em termos de unidade de massa por unidade de tempo, por unidade de área, para serem inseridos no modelo CIT. Ou seja, a região metropolitana é dividida em uma grade composta por quadrados de 25 km² ou com 9 km² de área, e as emissões de cada um dos poluentes (CO, NO_x, HC, PTS etc) são expressas em termos de gramas/hora para cada hora do dia, para cada quadrado da grade.

Como o inventário da CETESB para as emissões veiculares é apresentado de forma agregada para toda a região metropolitana em função da frota total e da quilometragem média rodada por ano, não há como se chegar, através dele, às diferenças nas emissões para cada um dos “quadrados-áreas” da grade. O melhor refinamento possível dos dados é obtido dividindo-se o total emitido na RMSP pela frota de veículos registrada em cada um dos municípios que a compõem (figura 1). Mas a entrada de dados segundo este método fica muito agregada pois não representa as diferenciações intra-urbanas, e também pressupõe que a frota registrada em um município circula somente dentro do seu próprio território, o que não acontece na prática.

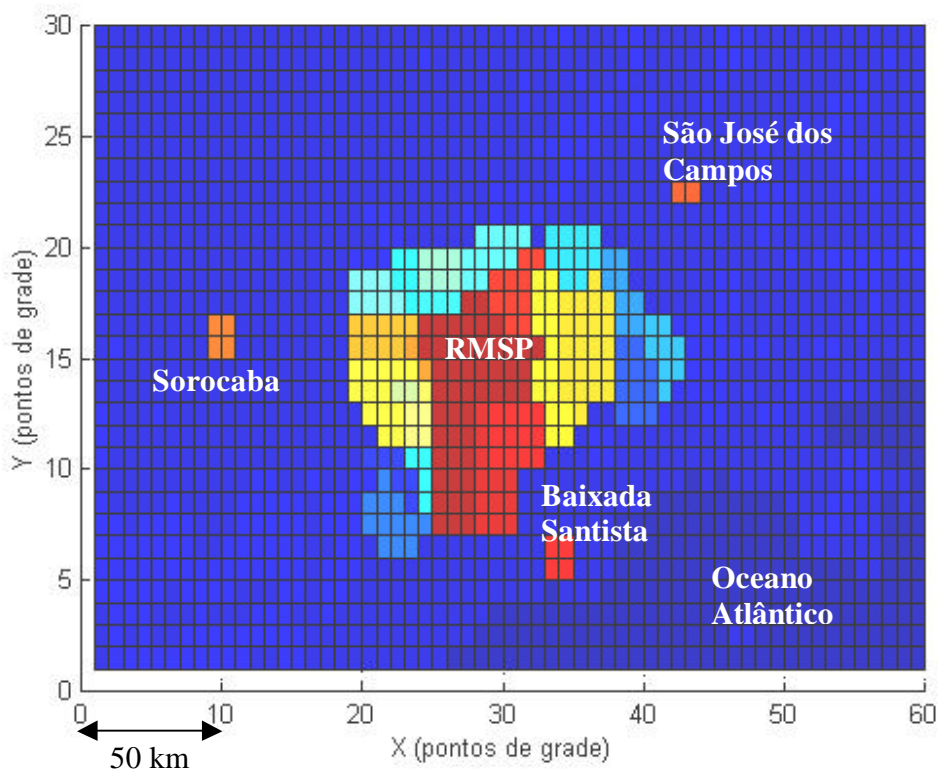


Figura 1: Distribuição das emissões veiculares na região de estudo segundo a distribuição da frota de automóveis por município da RMSP. As cores denotam a intensidade da emissão, sendo vermelho o local com a maior emissão e a azul (fundo) significa que não há emissão.

2.3. A simulação dos carregamentos de tráfego pelo software EMME/2

Para calcular as emissões de poluentes dos automóveis considerando-se as diferenças intra-urbanas, é preciso, antes de tudo, saber o volume de veículos que circula em cada uma das vias da malha viária da RMSP. Esse valor pode ser obtido diretamente através de contagens de tráfego, ou através de simulação. Fazer contagens de tráfego nas vias principais da RMSP é um trabalho muito caro, por isso o melhor método é obter os dados de volumes de veículos através de simulação.

O software EMME/2 já é utilizado para planejamento de transportes na RMSP há vários anos, e é alimentado basicamente com dados obtidos através de pesquisa origem/destino, e pelas características físicas e operacionais do sistema viário. A pesquisa origem/destino gera uma matriz de viagens segundo o zoneamento de tráfego da região. Ou seja, a RMSP foi dividida em cerca de 1160 zonas de tráfego, e a matriz origem/destino representa o número de viagens entre elas.

O sistema viário no *software* EMME/2 é representado por tramos e nós. Um tramo representa um trecho de via, e um nó representa um cruzamento de uma ou mais vias. Não necessariamente todos os cruzamentos viários da cidade são representados, pois isto irá depender do grau de detalhamento desejado. Para cada nó são definidas as coordenadas geométricas, e para cada tramo são atribuídos valores referentes às características físicas e operacionais do trecho da via que ele representa. O EMME/2 tem a vantagem de permitir ao usuário associar funções matemáticas a cada tramo. A mais utilizada é função volume-atraso, fundamental para o carregamento da rede.

O EMME/2 faz a alocação dos automóveis na rede viária considerando os melhores trajetos entre as origens e os destinos. O melhor trajeto é considerado aquele de menor tempo de viagem. Como resultado final, o EMME/2 apresenta o número de veículos total em cada tramo.

Para fazer estimativas de emissão de poluentes, inserimos funções matemáticas para os tramos da rede viária, relacionando as emissões com a velocidade média. Para o nosso estudo, utilizamos as funções apresentadas no relatório síntese do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, para a Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP (1998):

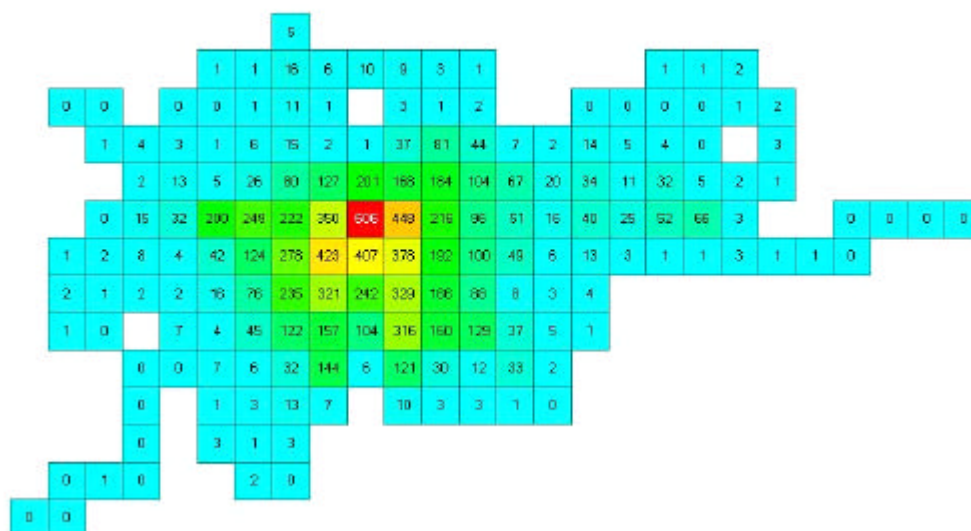
$$(1) \text{ HC (g/km)} = -0,28 + \frac{62,48}{V}$$

$$(2) \text{ CO (g/km)} = -4,51 + \frac{727}{V} + 1,34E-3 V^2$$

$$(3) \text{ NO}_x \text{ (g/km)} = 1,03 + 7,477E-3 V^2$$

onde: V = velocidade média no tramo.

Figura 4. Distribuição das emissões de Hidrocarbonetos – HC (em kg/h) na RMSP segundo os volumes de automóveis obtidos a partir do software EMME/2 (cada quadrado representa uma área de 25 km²)



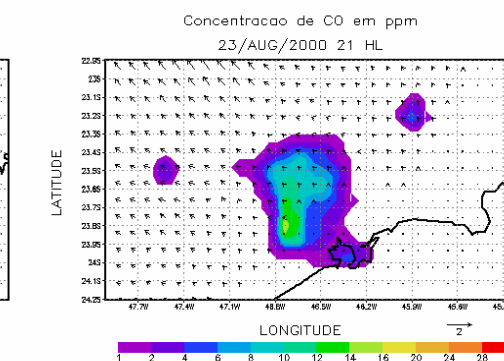
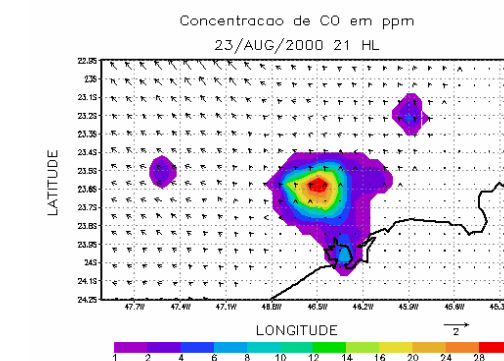
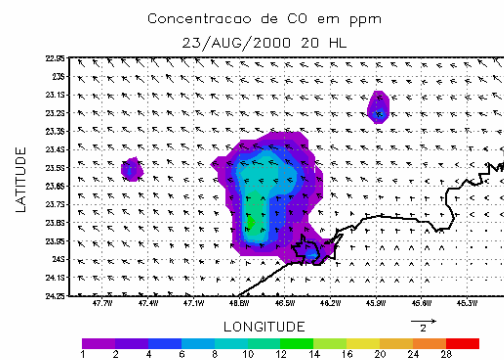
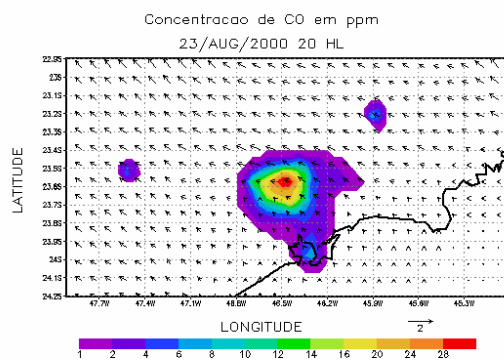
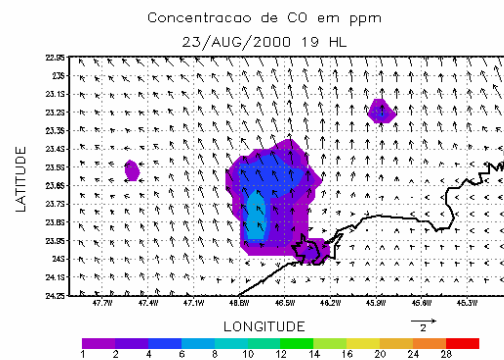
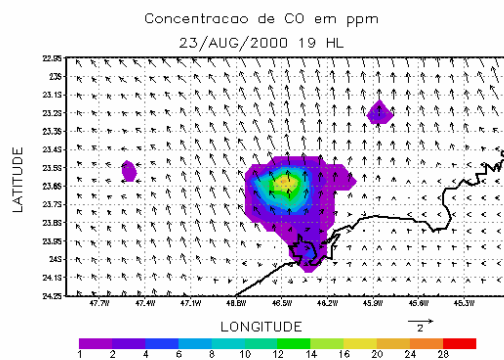
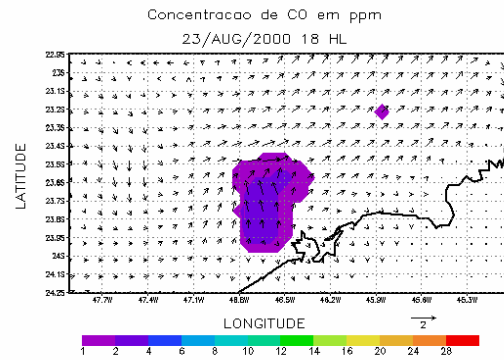
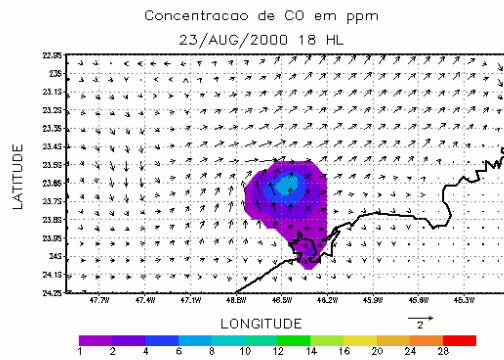
3. Avaliação dos resultados

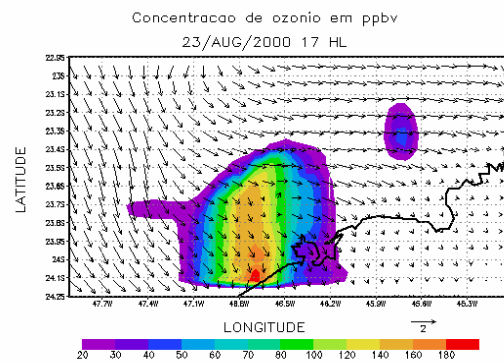
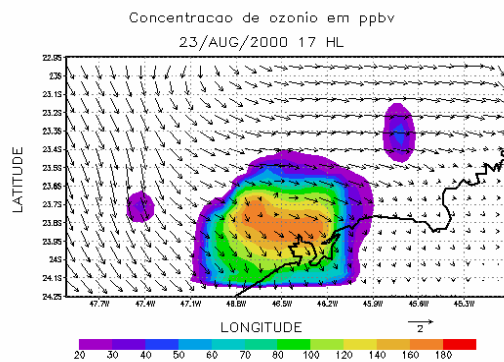
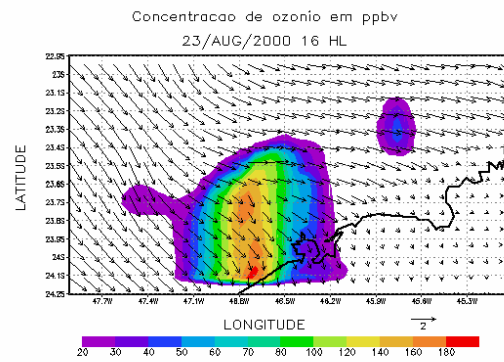
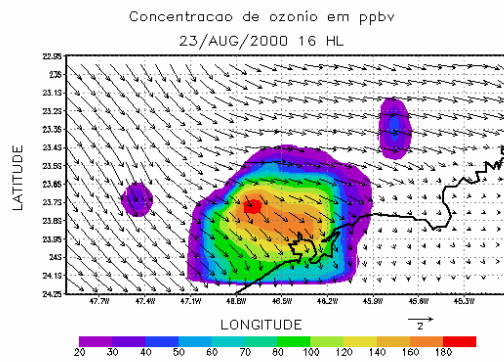
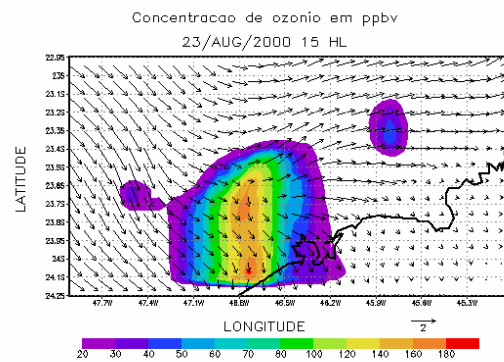
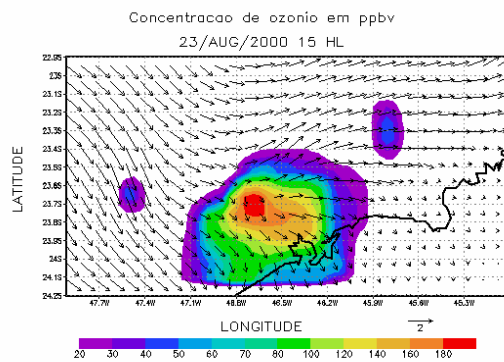
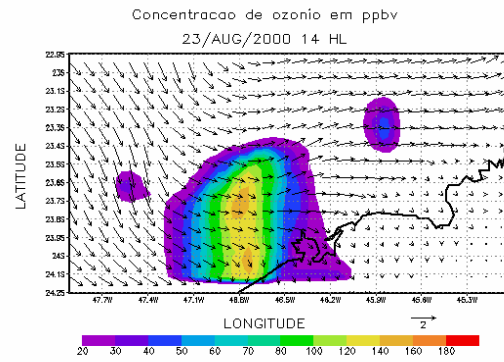
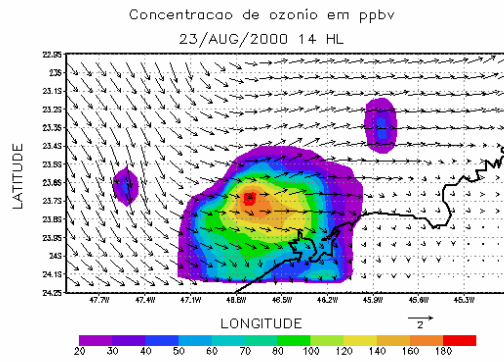
A nova distribuição das emissões de automóveis é bastante diferente das anteriores, por considerar os carregamentos de tráfego na malha viária. O quadrado-área correspondente ao centro da cidade de São Paulo apresenta valores muito mais elevados do que o restante da RMSP, como já era de se esperar, pois o sistema viário ali é bastante denso e com um volume de tráfego muito elevado. Em seguida, a região chamada de centro expandido, correspondente à região da Avenida Paulista e Jardins aparece com valores também bastante elevados, e na medida que nos afastamos dessa região os valores das emissões caem até chegar a valores muito baixos para a periferia da RMSP.

Como era de se esperar, nas simulações da dispersão e formação de poluentes com o CIT, os valores de CO e Ozônio ficaram mais concentrados junto ao centro da cidade de São Paulo, onde as emissões são maiores, e apresentaram valores mais elevados para o pico máximo (figuras 5 e 6).

Figura 5. Comparação entre os resultados das simulações da dispersão de Monóxido de carbono – CO no CIT. Os gráficos à esquerda representam as concentrações considerando os carregamentos de tráfego na malha viária, e os gráficos da direita considerando as emissões homogêneas para cada município da RMSP. Percebe-se que com a nova distribuição, os pontos de máximo acontecem antes e de forma mais concentrada.

Figura 6. Comparação entre os resultados das simulações da dispersão de Ozônio – O₃ no CIT. Os gráficos à esquerda representam as concentrações considerando os carregamentos de tráfego na malha viária, e os gráficos da direita considerando as emissões homogêneas para cada município da RMSP. Percebe-se também no caso do ozônio, que com a nova distribuição, os pontos de máximo acontecem antes e de forma mais concentrada.





Podemos afirmar que os resultados da simulação são mais realistas quando são consideradas as diferenças correspondentes aos carregamentos de tráfego na malha viária do que quando se considera as emissões homogeneamente distribuídas. Trabalhando desta forma, pode-se contribuir mais significativamente para a elaboração de políticas públicas localizadas no interior da malha urbana, como, por exemplo, políticas de restrição de tráfego direcionadas à área central, e ao centro expandido

Ainda pretendemos melhorar os resultados, estudando mais detalhadamente as equações de emissões, de acordo com as normas da EPA – *Environment Protection Agency* dos EUA. É importante também fazer novas simulações para grades com resolução de 3 x 3 km, para melhorar a qualidade dos resultados.

Bibliografia

CETESB, Relatório da Qualidade do Ar no Estado de São Paulo, 2001.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (1998); *Relatório Síntese – Redução das deseconomias urbanas com a melhoria do transporte público*.

Murgel, Eduardo m. et alii (1987). Inventário de Emissão Veicular – Metodologia de Cálculo. Revista de Engenharia Sanitária, vol 26 – Nº 3;jul/set.

Ribeiro, Helena. (2004). *Air Pollution and Children's Health in São Paulo (1986-1998)*. Social Science and Medicine.