

Impacto regional das mega-cidades na qualidade do ar sobre a América do Sul: Inventário regional de emissões veiculares urbanas e sua aplicação na modelagem química.

Marcelo Felix Alonso¹

marcelo.alonso@cptec.inpe.br

Karla Maria Longo²

karla.longo@cptec.inpe.br

Saulo Ribeiro de Freitas¹

Saulo.freitas@cptec.inpe.br

Rafael Mello da Fonseca¹

Rafael.mello@cptec.inpe.br

¹ CPTEC/INPE ² CCST/INPE

1.0 Introdução

A intensa urbanização que vêm ocorrendo na América do Sul tem sido acompanhada por um processo de metropolização, ou seja, concentração demográfica nas principais áreas metropolitanas dos países sul-americanos. De acordo com relatório do fundo de População das Nações Unidas [UNFPA, 2007], 82% da população reside em áreas urbanas, com uma taxa de crescimento de 1,7% ao ano.

O crescimento populacional nas grandes cidades impõe, dentre outros problemas, a degradação da qualidade do ar em escalas local e regional. As emissões de gases traço tóxicos para a troposfera e os produtos de sua oxidação representam um risco direto à saúde.

Os efeitos locais da emissão de poluentes na qualidade do ar das cidades e o impacto de extensas áreas urbanas em áreas remotas têm sido objetos de estudos observacionais e de modelagem. Para a aplicação da modelagem numérica no estudo e prognóstico da qualidade do ar, faz-se necessária uma boa representação das emissões, da escala local à global. Porém os inventários globais possuem baixa resolução espacial e, portanto, não conseguem captar características específicas das emissões por região, temporalmente e espacialmente, principalmente no que diz respeito à representação dos centros urbanos [Gurjar et al., 2004]. Mesmo com a atual iniciativa de construir inventários globais com resoluções mais finas, como por exemplo, o EDGAR 4.0 (<http://edgar.jrc.ec.europa.eu/index.php>) que possui resolução espacial de 10 km é necessário investir em metodologias que integrem os inventários locais nas bases de dados globais e regionais de emissões, principalmente na América do sul, que possui poucos inventários.

Em 2006, uma rede de colaboração entre Argentina, Brasil, Chile e Colômbia constituiu o projeto SAEMC (South American Emissions, Megacities and Climate), financiado pelo Inter-American Institute for Global Change Research (IAI), com o intuito de prover inventários de emissões atualizados e gerar cenários regionais de mudanças climáticas para o continente sul-americano com ênfase no impacto das mega-cidades, e estabelecer bases científicas para a previsão do tempo químico regional.

Neste contexto, este trabalho apresenta a consolidação de um inventário regional de emissões urbanas para a América do Sul que agrega informações dos inventários locais de emissões veiculares às bases de dados globais já existentes para o continente sul-americano, sua aplicação na previsão da qualidade do ar para o estado de São Paulo, junto a CETESB (<http://www.cetesb.org.br>) e o estudo do impacto regional das grandes cidades sul-americanas na química regional, com ênfase na formação/destruição do ozônio próximo à superfície, cujos altos níveis são relacionadas com redução da função pulmonar em estudos clínicos

[Abelshon et al., 2002] e sua fitotoxicidade pode comprometer a produtividade agrícola e afetar áreas florestais.

2.0 Metodologia

2.0.1 Inventário regional de emissões urbanas por fontes móveis para a América do Sul: construção e avaliação

Embora existam outras fontes de emissões antrópicas no ambiente urbano, o foco deste trabalho são as emissões veiculares. Na região metropolitana de São Paulo as fontes móveis são responsáveis por 95% da emissão total de monóxido de carbono (CO) e por 98% da emissão total dos óxidos de nitrogênio (NO_x) [CETESB, 2005]. Similar contribuição relativa é encontrada em outras cidades sul-americanas.

O inventário de emissões urbanas por fontes móveis em escala regional aqui apresentado foi desenvolvido através do levantamento dos inventários locais disponíveis, extrapolação para as cidades não-inventariadas e agregação aos inventários bases já existentes, no pré-processador do modelo químico operacional CCATT-BRAMS [Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System, Freitas et al. 2009 e Longo et al. 2010]. Utilizaram-se as informações disponíveis dos inventários locais para os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, na região sudeste do Brasil, para a Região Metropolitana de Porto Alegre no sul do Brasil, Região metropolitana de Buenos Aires (Argentina), Santiago (Chile) e Bogotá (Colômbia).

Como o número de cidades que possuem inventários de emissões veiculares é muito pequeno com relação ao número de cidades de médio e grande porte existentes no continente sul-americano os inventários locais existentes foram extrapolados para os demais municípios. Para tanto, os fluxos de emissões de CO e NO_x por fontes móveis das cidades inventariadas foram cruzados com dados sócio-econômicos buscando uma correlação significativa que permitisse extrapolar essas emissões para localidades não inventariadas. Foram avaliadas informações municipais do índice de desenvolvimento humano (IDH), do produto interno bruto (PIB), óbitos por distúrbios respiratórios, densidade populacional urbana e densidade veicular, dentre outros índices sócio-econômicos.

Uma metodologia de detecção e análise da área urbanizada de um município foi proposta e incorporada ao pré-processador de emissões do modelo CCATT-BRAMS, o que permitiu distribuir as emissões com mais precisão em resoluções mais finas. Em resumo, aplicou-se um algoritmo para obtenção de um polígono convexo, através da análise da classe urbana de um produto de sensoriamento remoto de cobertura do solo. Essa ferramenta é automática e preparada para qualquer resolução. O raio de influência não permite que cidades vizinhas sejam representadas por uma única área, o que é extremamente importante em áreas densamente povoadas. Este método permite a utilização consistente de um mesmo inventário de emissões desde a escala local até a grande escala.

Para a avaliação, foram conduzidas simulações numéricas utilizando o sistema de modelagem CCATT-BRAMS para os meses de janeiro, julho e outubro de 2005. Foram realizadas duas simulações por período, a primeira com dados de emissões antrópicas baseada nos inventários globais originalmente incorporados ao pré-processador de emissões, chamada CONTROLE, e a segunda com o inventário regional de emissão veicular gerado neste trabalho, chamada SA-INV. Utilizaram-se três grades com 80, 20 e 5 km de espaçamentos horizontais, sucessivamente aninhadas e interagentes pelo método 2-way. A grade de 80 km cobre uma extensa área da América do Sul, entre as latitudes de 14S e 32 S. A grade de 20 km cobre principalmente as regiões sudeste e centro oeste do Brasil. A mais fina cobre os estados

de Minas Gerais e São Paulo, abrangendo suas respectivas capitais, Belo Horizonte e Região Metropolitana de São Paulo.

2.0.2 Previsão da qualidade do ar para os estados de São Paulo e Rio de Janeiro

O Grupo de Modelagem da Atmosfera e Interfaces (GMAI) do INPE vêm desenvolvendo juntamente com a CETESB uma ferramenta para o prognóstico da qualidade do ar para o estado de São Paulo, através de simulações em alta resolução (3 km). Utilizou-se o inventário regional, adaptado para a operação em alta resolução através da inclusão das emissões das principais rodovias brasileiras, estimadas com base nas informações de volume de tráfego da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e da distribuição das emissões da Região Metropolitana de São Paulo, através das informações de tráfego da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET). A operação vem mostrando bons resultados, principalmente na distribuição espacial dos poluentes simulados, avaliada através das estações de monitoramento espalhadas ao longo do estado de São Paulo.

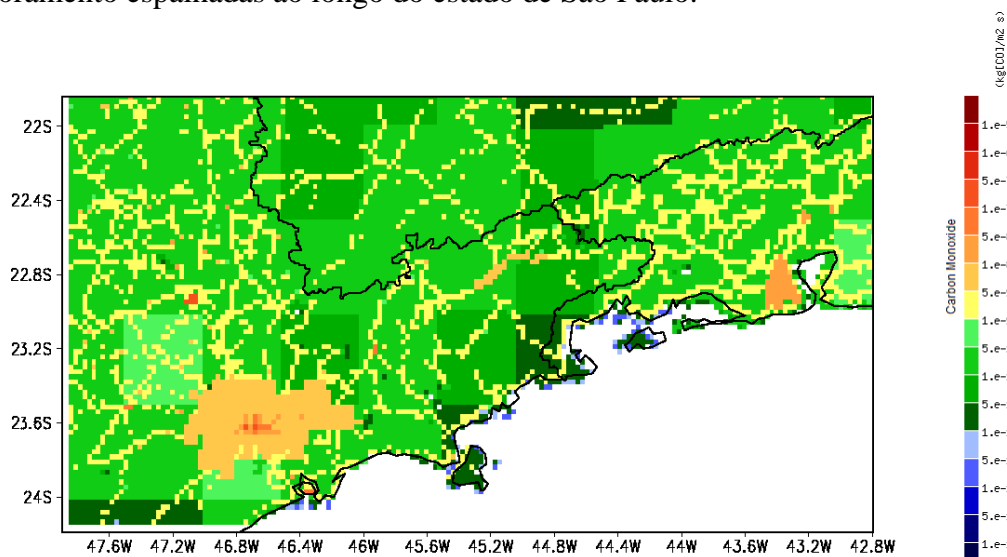


Figura 1 – Emissão de monóxido de carbono na resolução de 3 km ($\text{kg}[\text{CO}]/\text{m}^2\text{s}$) utilizada na previsão da qualidade do ar para os estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

2.0.3 Estudo da influência das Mega-cidades na química regional

Através do inventário regional de emissões veiculares avaliado, fez-se um estudo para o mês de outubro/2008 da influência das mega-cidades na composição regional do ozônio, através de duas simulações: a primeira incluindo todas as emissões (urbanas, biogênicas e queimadas) e a segunda retirando as emissões urbanas. Atualmente estamos fazendo esse estudo para os anos de 2005-2010.

3.0 Resultados e discussão

Dentre os vários índices socioeconômicos avaliados, os fluxos de emissão de CO e NO_x apresentaram melhor correlação com a densidade de veículos, com índices de correlação de Pearson de 0,92 e 0,93 e coeficientes de determinação de 0,88 e 0,95, respectivamente. Desta forma, as emissões para as demais cidades brasileiras foram extrapoladas em função dessa correlação. A inclusão das informações de emissões dos inventários locais no mapa regional e sua extrapolação para as cidades brasileiras não inventariadas são mais evidentes nas áreas urbanas de médio e grande porte das regiões centro, sul e sudeste do Brasil, as quais possuem

maior participação no PIB nacional e conseqüentemente uma maior densidade veicular (figura 2).

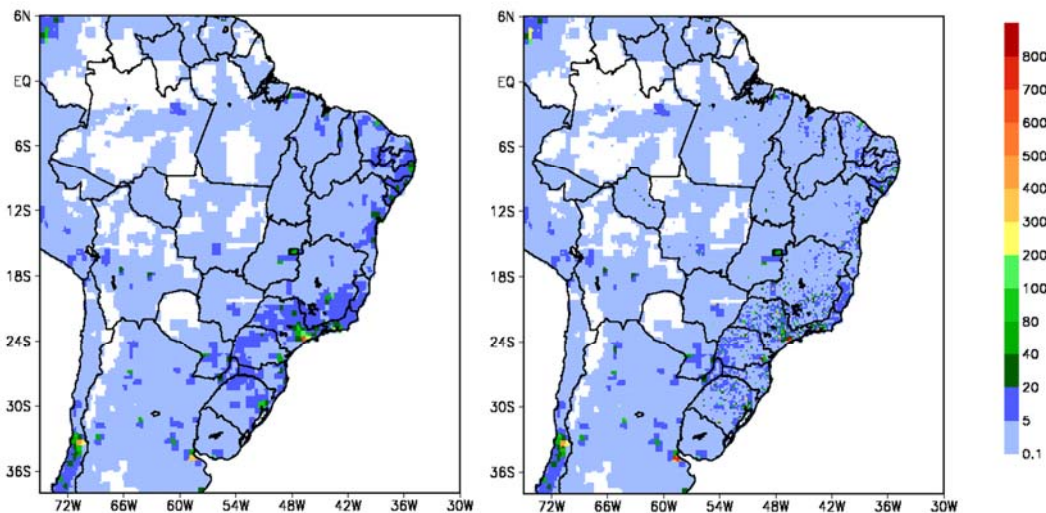


Figura 2 - Emissões de CO ($\times 10^6 \text{ kg/m}^2/\text{dia}$) do inventário original (A) e extrapolado (B) em uma grade de 20 km sobre a América do Sul.

Os resultados da avaliação do inventário regional, mediante análise das razões de mistura de CO, NOx e ozônio nas cidades de São Paulo e de Belo Horizonte, mostram um ganho significativo na representação numérica da composição química da atmosfera local, sugerindo que a atualização da base de dados global com inventários locais é imprescindível para que se obtenha um bom acoplamento entre as escalas local e regional. A Figura 3 apresenta os resultados para o ozônio, no mês de outubro.

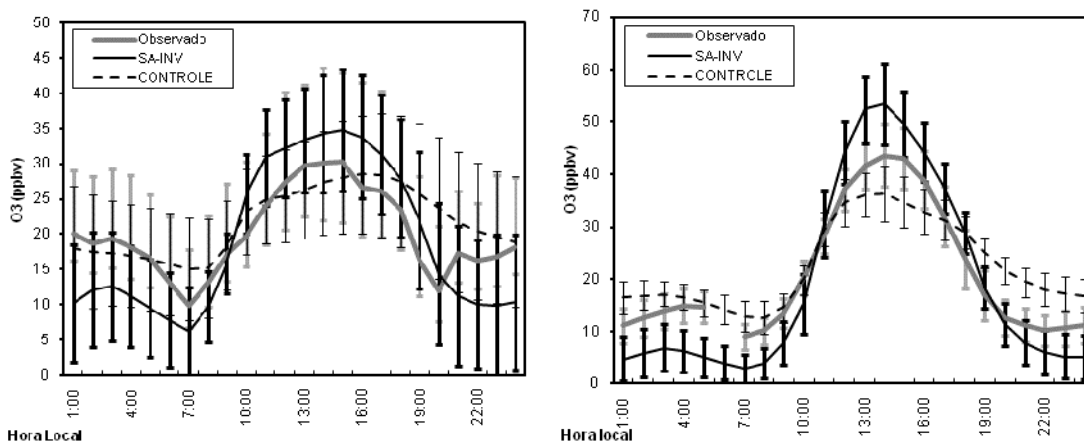


Figura 3 – Média horária da razão de mistura de O_3 observados e simulados nos experimentos CONTRCLE e SA-INV para a Região Metropolitana de São Paulo e para a cidade de Belo Horizonte para outubro/2005.

A figura 4 mostra a contribuição percentual das mega-cidades na razão de mistura de ozônio sobre a América do Sul, avaliada pelos experimentos descritos no item 2.0.3. Fica evidente a contribuição relativa de grandes cidades como São Paulo e Buenos Aires em áreas remotas distantes centenas de quilômetros dessas metrópoles, elucidando sua influência regional.

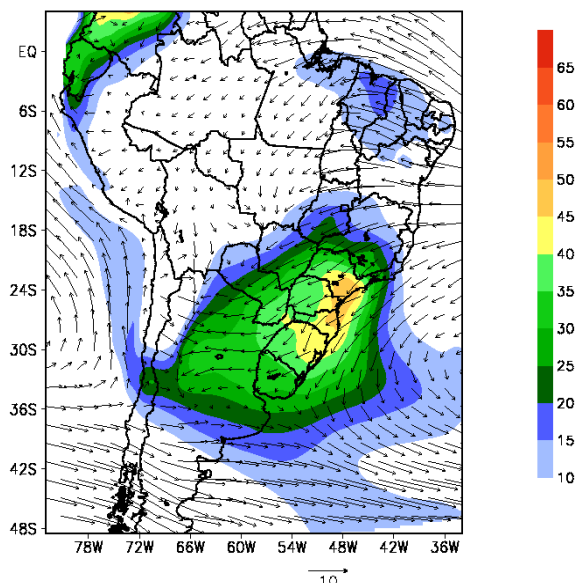


Figura 4 – Porcentagem de contribuição de fontes urbanas na camada de 1 km acima da superfície.

4.0 Conclusão

As razões de mistura dos gases traço simuladas pelos experimentos numéricos que utilizam o inventário regional proposto nesse trabalho apresentam uma boa concordância com as observações representando consistentemente sua variabilidade horária e diária. Esses resultados mostram que a agregação dos inventários municipais no mapa regional de emissões e sua precisa distribuição em resoluções mais finas é uma ferramenta importante na modelagem da química atmosférica em escala regional, principalmente no que diz respeito ao estudo da influência das mega-cidades na composição química regional sobre a América do Sul. Em continuidade, estamos realizando esse estudo para um período maior, e pretendemos estender a extrapolação das emissões veiculares urbanas para outras cidades sul-americanas não inventariadas.

5.0 Bibliografia

- Abelsohn A., Stieb D., Sanborn M.D., Weir E., 2002. **Identifying and managing adverse environmental health effects: 2. Outdoor air pollution**. Can. Med. Assoc. J. 166:1.161-1.167.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), 2005. **Relatório de Qualidade do ar no Estado de São Paulo**. Report Series/ Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103, 140 p. < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>.
- Freitas, S. R., Longo, K. M., Silva Dias, M. A. F., Chatfield, R., Silva Dias, P., Artaxo, P., Andreae, M. O., Grell, G., Rodrigues, L. F., Fazenda, A., and Panetta, J., 2009. **The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS) - Part 1: Model description and evaluation**, Atmos. Chem. Phys., 9, 2843-2861.
- Gurjar B.R., van Aardeen, J.A., Lelieveld J., Mohan M., 2004. **Emissions estimates and trends (1990 – 2000) for megacity Delhi and implications**. Atmospheric Environment, 5663 – 5681.
- Longo, K. M., Freitas S. R., Pirre M., Marécal V., Rodrigues L. F., Alonso M., Mello R., 2010. **The Chemistry-CATT BRAMS model: a new efficient tool for atmospheric chemistry studies at local and regional scales**. In the process of submission to Geoscientific Model Development.
- United Nations Population Fund (UNFPA), 2007. **Situação da População Mundial 2007: Desencadeando o Potencial do crescimento Urbano**. Fundo de População das Nações Unidas, 180 pp.