

# SIMULAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS PRECURSORES DE OZÔNIO EMITIDOS POR FONTES VEICULARES NA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE

**CARDOSO DA SILVEIRA, Viliam<sup>1</sup>; RIBEIRO MACEDO, Luana<sup>2</sup>; DA COSTA CARVALHO, Jonas<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET/MEC/SESU) do curso de graduação em Meteorologia, viliamcardoso@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET/MEC/SESU) do curso de graduação em Meteorologia, luanamacedo-sls@hotmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Professor (Doutor) do Departamento da Faculdade de Meteorologia (DFMet), jonascc@yahoo.com.br

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas originados pela poluição do ar em áreas urbanas é o provocado pelos oxidantes fotoquímicos, principalmente o ozônio troposférico ( $O_3$ ), que é considerado uma substância secundária nociva do ar. Os precursores deste poluente (monóxido de carbono CO, óxidos de nitrogênio  $NO_x (=NO_2+NO)$  e hidrocarbonetos HCs) são principalmente de origem antropogênica, sendo os automóveis suas principais fontes de emissão. Estes poluentes primários, responsáveis pela formação de ozônio, podem ser transportados de áreas urbanas e industriais a outras áreas distantes das fontes de emissão. Em função do aumento na taxa de urbanização e do desenvolvimento industrial durante as últimas décadas, é provável que tenha ocorrido acréscimo nas emissões atmosféricas, principalmente por fontes móveis (automóveis) nas regiões altamente urbanizadas e desenvolvidas, como é o caso da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA). Devido à importância do assunto, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre o comportamento das concentrações dos precursores de  $O_3$ , através de simulações numéricas com um sistema de modelagem numérica. Para avaliação das simulações foi escolhido um período de 48 horas (6 e 7 de janeiro de 2009) com características que favorecem altas concentrações de poluentes na região de estudo. O inventário de emissões de fontes móveis e os dados de concentração, utilizados na validação da simulação, foram fornecidos pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM).

## 2 METODOLOGIA (MATERIAL E MÉTODOS)

O inventário de fontes veiculares da RMPA foi realizado pela FEPAM no âmbito de um projeto estruturante FINEP-FAPERGS (Projeto Estruturante em Agroenergia (Biodiesel) do RS – Subprojeto Ambiental, Processo 0800042). Foi baseado em metodologia desenvolvida pela *United States Environmental Protection Agency* (U.S. EPA) e os fatores de emissão utilizados foram fornecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), com correções e adequações sugeridas para a região de estudo. O inventário considerou os 31 municípios da RMPA e levou em conta um total de 1.486.227 veículos.

O sistema de modelos utilizados para as simulações é composto por: WRF (*Weather Research and Forecasting*), CALMET (*Californian Meteorological Model*) e CALPUFF (*Californian Puff Model*). WRF é um modelo que permite efetuar

simulações em escalas que variam da escala local até a escala global. O módulo dinâmico é baseado nas equações prognósticas do movimento. Um módulo específico é dedicado a termodinâmica úmida (nuvens e precipitação), um outro ao balanço radiativo e um outro, ainda, à parametrização da turbulência (Grell et al., 2005). CALMET é um modelo meteorológico diagnóstico que calcula parâmetros de dispersão e melhora a resolução da simulação realizada pelo WRF (Scire et al., 2000a). CALPUFF é um modelo de dispersão de *puff* Lagrangeano não-estacionário, que permite validar um campo de concentração, simulando o transporte, a transformação e a remoção dos poluentes na atmosfera a partir de condições meteorológicas variáveis no espaço e no tempo (Scire et al., 2000b).

Para a validação do modelo sobre a RMPA, foi escolhido um período que apresenta características que favorecem a altas concentrações de poluentes. A simulação foi realizada para o período compreendido entre às 00 UTC do dia 05/01/2009 e às 00 UTC do dia 08/01/2009. O domínio de simulação foi configurado com um aninhamento de duas grades, centradas na cidade de Porto Alegre. A grade externa foi configurada com 90 x 90 pontos, resolução horizontal de 20 km e 31 níveis na vertical. A grade interna foi configurada com 125 x 125 pontos, 31 níveis na vertical e resolução horizontal de 5 km, nos modos hidrostático e não hidrostático respectivamente.

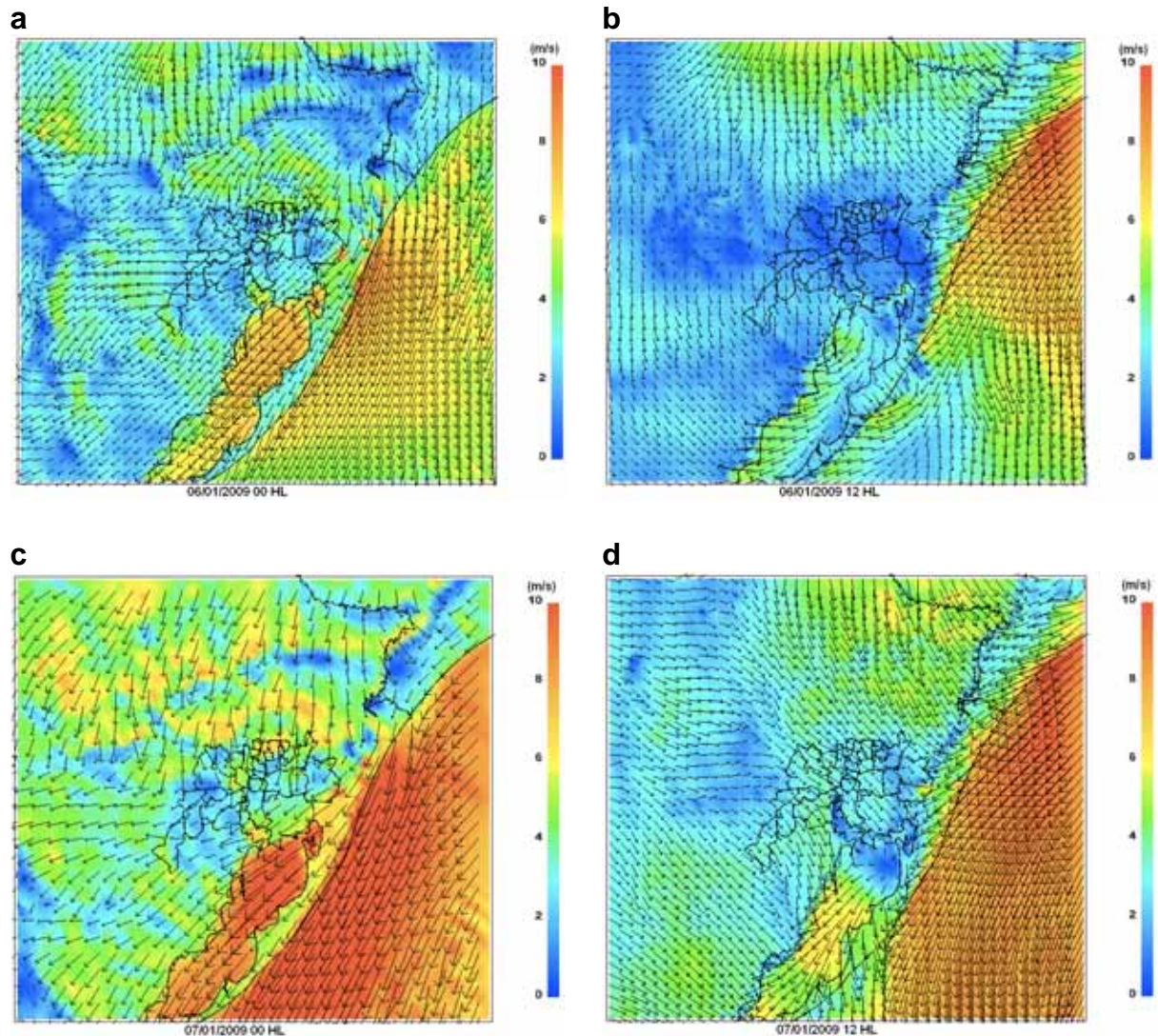
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para se ter uma idéia de como ocorre o transporte de poluentes na RMPA, realiza-se uma breve análise da circulação do vento na região. A área é caracterizada por consideráveis variações do uso e cobertura do solo, com centros urbano-industriais e também com a presença de grandes reservatórios de água. Naturalmente, o transporte de poluentes emitidos nesta região está sob a influência de circulações locais, como brisa marítima, brisa lacustre, escoamento vale-montanha e circulação de ilha de calor urbano. As variações do tipo de superfície têm conseqüências diretas no campo de vento horizontal, gerando acelerações e estagnações do vento em algumas áreas.

A Figura 1 apresenta os campos de direção e intensidade do vento, simulados pela grade interna do WRF, na região onde está localizada a RMPA. A figura mostra a circulação do vento nos horários de 00 e 12 (HL – hora local) nos dias 06 e 07 de janeiro. À 00 HL do dia 06 de janeiro, a direção do vento é de norte-nordeste com intensidade de moderada a forte. Às 12 HL, a direção do vento ainda apresenta predominância de norte-nordeste, mas os efeitos de circulação local alteram a configuração sobre a RMPA, onde é possível notar a brisa lacustre da Laguna do Patos, ventos muito fracos e áreas de estagnação. No dia 7 de janeiro, tanto a 00 quanto às 12 HL, o escoamento está muito influenciado por um centro de alta pressão que atuava sobre a região e, assim, permite determinar de forma mais clara a predominância da direção do vento sobre a RMPA. Às 12 HL, o escoamento de brisa lacustre é pouco perceptível.

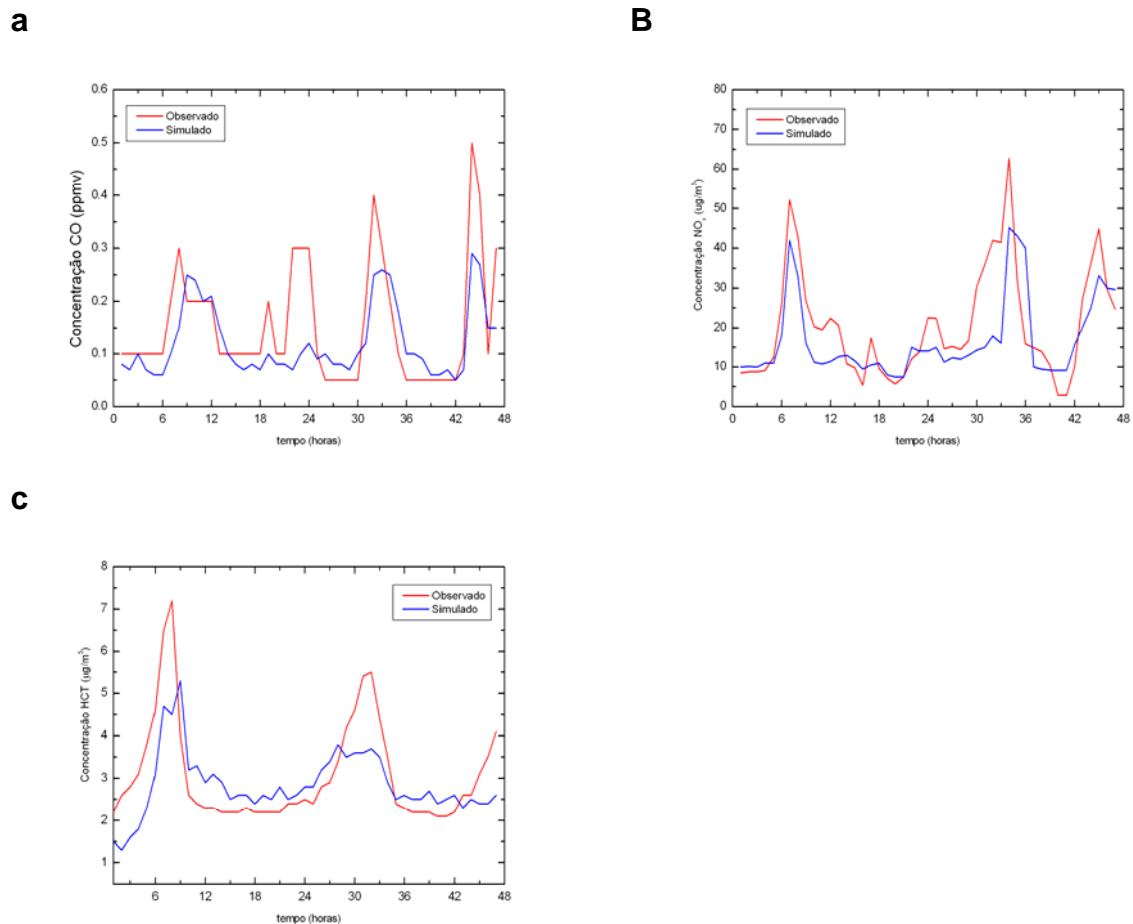
A Figura 2 apresenta a comparação entre as concentrações simulada e observada para os precursores CO, NO<sub>x</sub> e HCT nos dias 06 e 07 de janeiro na localidade de uma estação de qualidade do ar instalada pela FEPAM no município de Esteio (-29,85 °; -51,17 °). As concentrações máximas dos precursores ocorrem nos primeiros horários da manhã. À tarde, as concentrações caem devido aos efeitos da difusão turbulenta e do aumento na altura da camada limite. As concentrações tendem a subir no final da tarde, com o aumento das emissões e com

a diminuição da altura da camada limite. Os resultados mostram que as concentrações simuladas acompanham a evolução das concentrações observadas, mas em muitas situações o modelo não reproduz bem os valores dos máximos e mínimos. De um modo geral, os máximos simulados são menores do que os observados e os mínimos simulados são quase sempre maiores do que os observados, ou seja, o modelo subestima os picos de máxima concentração e superestima os mínimos.



**Figura 1** – Vento em superfície simulado pelo modelo WRF: a) dia 06/01 às 00 HL, b) dia 06/01 às 12 HL, c) dia 07/01 às 00 HL e d) dia 07/01 às 12 HL





**Figura 2** – Comparação entre concentrações simulada e observada na estação do município de Esteio (FEPAM) nos dias 06 e 07 de janeiro: a) CO, b) NO<sub>x</sub> e c) HCT.

## 4 CONCLUSÕES

As comparações entre as concentrações simuladas e observadas para os precursores CO, NO<sub>x</sub> e HCT mostram que as concentrações simuladas tendem a acompanhar a evolução diurna das concentrações observadas, mas em muitas situações o sistema de modelos não reproduz bem os valores dos máximos e mínimos. Entre os fatores que podem estar dificultando um melhor desempenho das simulações estão as incertezas relacionadas às estimativas das emissões e ao cálculo da evolução da altura da camada limite planetária.

## 5 REFERÊNCIAS

- GRELL, G.A.; PECKHAM, S.E.; SCHMITZ, R.; MCKEEN, S.A.; WILCZAK, J.; EDER, B. Fully coupled “online” chemistry within the WRF model. **Atmospheric Environment** n.39, p.6957–6975, 2005.
- SCIRE, J.S., ROBE, F.R., FERNAU, M.E. e YAMARTINO, R.J., 2000a. A User Guide for the CALMET Meteorological Model (Version 5), Earth Tech, Inc., Concord, MA.
- SCIRE, J.S., STRIMAITIS, D.G., YAMARTINO, R.J., 2000b. A User Guide for the CALPUFF Dispersion Model (Version 5), Earth Tech, Inc., Concord.