

# ASSIMILAÇÃO DOS DADOS DO EXPERIMENTO DE COPENHAGEN ATRAVÉS DO MÉTODO 3D-VAR NO CONTEXTO DE DISPERSÃO DE POLUENTES

SIMONE MARIA STRIEDER<sup>1</sup>; FABRÍCIO PEREIRA HÄRTER<sup>2</sup>; DANIELA BUSKE<sup>3</sup>; RÉGIS SPEROTTO DE QUADROS<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade federal de Pelotas 1 – [simonemstrieder@gmail.com](mailto:simonemstrieder@gmail.com) 1

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [fabricio.harter@ufpel.edu.br](mailto:fabricio.harter@ufpel.edu.br) 2

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [danielabuske@gmail.com](mailto:danielabuske@gmail.com) 3

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – [quadros99@gmail.com](mailto:quadros99@gmail.com)

## 1. INTRODUÇÃO

Estudar a dispersão de poluentes na atmosfera é crucial na tentativa de se conhecer as emissões antropogênicas de poluentes. Os efeitos da poluição, especialmente nos grandes centros urbanos, são motivo de grandes preocupações. Estudos sobre a dispersão de poluentes são realizados através de modelagem matemática e campanhas experimentais, tais como COPENHAGEN (1981).

Com intuito de melhorar a condição inicial destes modelos e consequentemente as previsões por eles geradas, utiliza-se um procedimento matemático conhecido como Assimilação de Dados (AD). Define-se AD como a combinação de dados observacionais ruidosos com modelos matemáticos (imperfeitos) considerando-se o conhecimento estatísticos dos erros, tanto de modelagem como de observação.

O método que representa o estado da arte em AD operacional é o método Variacional Tri-Dimensional (3D-Var) apresentado em KALNAY (2003).

Neste trabalho, resolve-se a equação de advecção-difusão bidimensional para o caso estacionário, modelo de fechamento de primeira ordem para as equações dos fluxos turbulentos, com coeficiente de difusão turbulenta seguindo a modelagem de DEGRAZIA et al (1997). Aplica-se a técnica de diferenças finitas, sendo o método de Euler explícito para integração na direção-x e diferenças centradas para discretização do operador de difusão apresentado em HOFFMAN (1993) e assimila-se os dados do experimento de Copenhagen através do Método 3D-Var. O objetivo é corrigir a trajetória do modelo, diminuindo o erro de previsão.

## 2. METODOLOGIA

No método 3D-Var é definida uma função custo, proporcional ao quadrado da distância entre a análise e o background e entre a análise e as observações. O mínimo desta função (equação abaixo) é a análise.

$$J_o(W) = \frac{1}{2} \{ [y_o - H(W)]^T \mathbf{R}^{-1} [y_o - H(W)] + (W - W_b)^T \mathbf{B}^{-1} (W - W_b) \}$$

A função custo J, mede a distância entre o campo W e as observações (primeiro termo da equação acima) e a distância entre a verdade e o background (segundo termo da equação acima).

O mínimo de J é obtido para  $W=W_a$ , ou seja, a análise. A minimização é realizada através de processos iterativos por algoritmos como *steepest descent* (gradiente descendente), como:

$$W_0^{f,i+1} = W_0^{f,n} - \alpha \nabla J(W_0^{f,n})$$

onde  $i$  é o número de interações e  $\nabla J$  é o gradiente da função custo em relação ao estado inicial  $W_0^{f,i}$ . Se a interação converge,  $W_0^{f,i}$  aproxima-se do estado inicial  $W_0^{f,\infty}$ , que satisfaz  $J = \min(J)$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o propósito de testar o esquema de assimilação, os seguintes parâmetros foram usados na modelagem da advecção-difusão:  $\nabla x = 0,5 m$ ,  $\nabla z = 10 m$ , altura da camada limite  $h = 810 m$  e altura da fonte  $h_f = 115 m$ .

No 3D-Var, a função custo foi minimizada com o gradiente descendente em 200 interações. O número de pontos na direção  $x$  é 15.000 (7.500 m). Este problema de difusão simula uma pluma liberada na origem do sistema de coordenadas. O resultado ao nível vertical do modelo onde foi instalado o instrumento é grafado na Tabela 1 e Figura 1(a). Considera-se que a verdade terrestre é a observação do experimento de Copenhagen (cruz azul na Figura 1(a)).

Tabela 1 - Erro Quadrático da previsão de concentração pelo modelo sem assimilação e com assimilação por 3D-Var ao nível de 1.900, 3.600 e 5.300 m da fonte.

$x$	Modelo	3D-Var
1.900 m	0,5756	0,0003
3.600 m	0,6177	0,0001
5.300 m	0,9948	0,0000

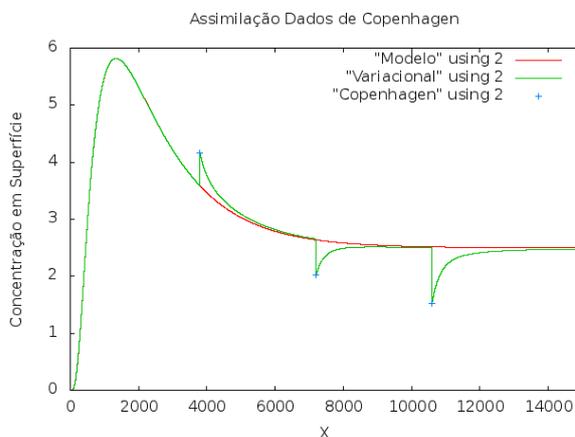


Figura 1 - (a) Integração do modelo ao nível do solo sem assimilação (linha vermelha), com assimilação 3D-Var (linha verde) e observação (cruz azul).

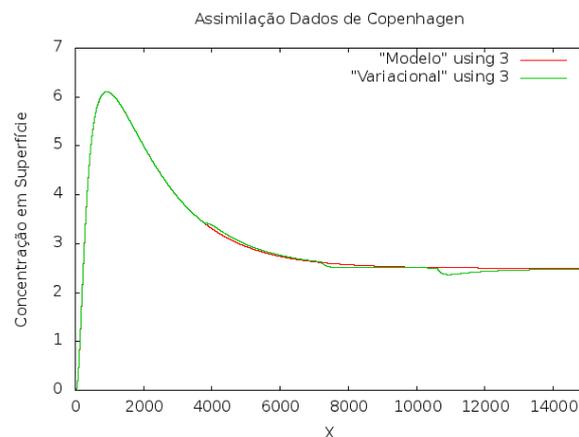


Figura 1 - (b) Integração do modelo no primeiro nível vertical do modelo sem assimilação (linha vermelha), com assimilação 3D-Var (linha verde).

Este resultado mostra que o modelo com assimilação 3D-Var (linha verde) aproxima-se da observação (verdade terrestre), corrigindo a trajetória do modelo sem assimilação (linha vermelha). Na tabela 1 observa-se que o Erro Quadrático diminui drasticamente de 0,5756 para 0,0003 à 1.900 m da origem de liberação da pluma; de 0,6167 para 0,0001 em 3.600 m e de 0,9948 para 0,0000 em 5.300 m. Observa-se ainda, que por um período entre as observações, a trajetória do modelo com assimilação difere do modelo sem assimilação, mostrando a

memória da correção gerada pelo 3D-Var.

Na Figura 1(b), foi grafado o mesmo experimento da Figura 1(a), para um nível imediatamente acima do nível onde foi instalado o instrumento. Observa-se nesta figura, que a assimilação tem pouco impacto neste nível, sendo que níveis mais altos do modelo praticamente não sofrem influência do procedimento de assimilação de dados. Portanto, quanto melhor amostrado no tempo e no espaço forem as observações disponíveis para assimilação, melhor será o resultado da previsão após a AD.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostram que o procedimento corrige a trajetória do modelo. Observa-se que o 3D-Var é quase ótimo para o experimento em questão, onde o erro de observação foi considerado muito pequeno. Em outros níveis verticais (não mostrados neste texto), a assimilação não tem efeito considerável, pois se assimilou dados apenas em superfície e três postos bastante distantes. Segundo HÄRTER ET AL (2002) os resultados melhoram proporcionalmente ao aumento da frequência de observação. Nos experimentos grafados, observa-se que a alguns metros do ponto de observação, a assimilação perde efeito.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem ao apoio financeiro recebido pelo CNPq e FAPERGS.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEGRAZIA, G. A.; VELHO, H. F. C. e CARVALHO, J. C.. Nonlocal Exchange Coefficients for the Convective Boundary Layer Derived From Spectral Properties. **Contributions to Atmospheric Physics**, 57-64, 1997.

GRYNING, S. E.. Elevated Source SF 6 – Tracer Dispersion Experiments in the Copenhagen Area. **Report RISOE-R-446**, Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1981.

HOFFMAN, J. D.. **Numerical Methods for Engineers and Scientists**. McGraw-Hill: Inc., 1993.

HÄRTER, F. P.. Kalman Filtering in the Air Quality Monitoring. **Ciência e Natura**, Santa Maria, 177-187, 2002.

KALNAY, E.. **Atmospheric Modelling, Data Assimilation and Predictability**. Cambridge University: Press, 2003.

ZANNETTI, P.. Air Pollution Modelling. Comp. **Mech. Publications**, Southampton, 1990.