

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

---

Modelagem da dispersão de poluentes considerando o meandro do vento, usando os modelos WRF, LES e técnica 3D-GILTT

Viliam C. da Silveira<sup>1</sup>

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Meteorologia, UFSM, Santa Maria, RS

Daniela Buske<sup>2</sup>

Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Matemática e Estatística, UFPel, Pelotas, RS

Gervásio Annes Degrazia<sup>3</sup>

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Meteorologia, UFSM, Santa Maria, RS

Régis Sperotto de Quadros<sup>4</sup>

Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Matemática e Estatística, UFPel, Pelotas, RS

**Resumo.** O objetivo desse trabalho é avaliar o comportamento da pluma de poluentes para a região onde o experimento INEL foi realizado. Utilizamos os modelos WRF, LES e a técnica 3D-GILTT para resolver a equação de advecção-difusão. Os perfis de temperatura e fluxos de calor gerados pelo modelo WRF (Weather Research and Forecasting) serão utilizados para alimentar o modelo LES-PALM (Large-Eddy Simulation-Parallelized). PALM se refere a um modelo de simulação dos grandes turbilhões (LES) para fluxos atmosféricos e oceânicos que se destina a arquiteturas de computadores em paralelos. O campo de vento horizontal gerado pelo modelo LES-PALM vão alimentar o modelo de dispersão baseado na técnica 3D-GILTT que resolve analiticamente a equação de advecção-difusão. A equação de advecção-difusão é resolvida pela combinação das técnicas da transformada de Laplace e GILTT (Generalized Integral Laplace Transform Technique). Essa técnica da transformada integral combina uma expansão em série com uma integração. Na expansão, é usada uma base trigonométrica determinada com a ajuda de um problema auxiliar de Sturm-Liouville. A integração é feita em todo intervalo da variável transformada, fazendo uso da propriedade de ortogonalidade da base usada na expansão. O sistema de equações diferenciais ordinárias resultantes é analiticamente resolvido usando a transformada de Laplace e diagonalização. Assim, poderemos avaliar o comportamento da pluma de poluentes na região de realização do experimento. Os dados utilizados para alimentar o modelo WRF são reanálises 1 do NCEP/NCAR. Estamos trabalhando com três grades alinhadas e vamos considerar os dados do domínio 3 para alimentar o modelo LES-PALM. A pluma de poluentes é simulada de forma satisfatória através da arquitetura de modelagem apresentada aqui. pluma de poluentes mostra as características esperadas.

---

<sup>1</sup>viliamcardoso@gmail.com

<sup>2</sup>danielabuske@gmail.com

<sup>3</sup>gervasiodegrazia@gmail.com

<sup>4</sup>danielabuske@gmail.com

**Palavras-chave.** Modelo de Mesoescala, Simulação dos Grandes Turbilhões, Técnica 3D-GILTT

## 1 Introdução

Normalmente, em condições estáveis na Camada Limite Planetária (CLP), durante situações nas quais a velocidade do vento apresenta baixa magnitude ( $V < 1,5$  m/s), são observadas oscilações de baixa frequência do vento horizontal [3]. Esta oscilação direcional do vento horizontal é conhecida como fenômeno de meandro do vento. Geralmente observa-se dois critérios para que o fenômeno seja considerado como meandro. O primeiro critério é verificar a existência de lóbulos negativos na função de autocorrelação e o segundo é que a razão (em módulo) entre os parâmetros de ajuste seja maior ou igual a 1.

Existem duas abordagens para representar o fluxo turbulento de contaminantes na camada limite planetária, ou seja, a abordagem Euleriana e a Lagrangeana. A abordagem Euleriana é melhor para descrever o fluxo, usando modelos teóricos e numéricos, porque as equações do movimento Euleriano são muito mais simples do que aquelas do movimento Lagrangeano. Neste trabalho usamos uma abordagem Euleriana. Geralmente, os modelos Eulerianos de dispersão de poluentes consideram que o vento médio é dominante na direção  $x$  e desprezam a componente  $v$  do vento [4]. No caso da ocorrência de meandro, as duas componentes horizontais ( $u$  e  $v$ ) do vento devem ser consideradas.

O experimento INEL [10] consiste de uma série de testes difusivos, conduzidos em um terreno plano e uniforme. O poluente  $SF_6$  foi coletado em arcos posicionados nos raios de 100; 200 e 400 m do ponto de emissão na altura de 0,76 m do solo. O poluente foi liberado de uma altura de 1,5 m acima do nível do solo.

## 2 Metodologia

Foram feitas simulações com o modelo WRF (Weather Research and Forecasting Model) para a região onde o experimento INEL (USA) foi realizado. Os perfis de temperatura potencial e fluxos de calor gerados pelo modelo WRF foram utilizados para alimentar o modelo LES-PALM (Large-Eddy Simulation-Parallelized) [14]. O campo de vento horizontal gerado pelo modelo LES-PALM foi utilizado para rodar o modelo de dispersão baseado na solução da equação de advecção-difusão.

Os dados utilizados para alimentar o modelo WRF são reanálises 1 do NCEP/NCAR. Vamos trabalhar com três grades alinhadas e vamos considerar os dados do domínio 3 para alimentar o LES-PALM. Na Figura 1 podemos ver a configuração das grades utilizadas no modelo WRF.

A Tabela 1 mostra as parametrizações dos processos físicos que foram utilizadas para rodar o modelo WRF.

A equação de advecção-difusão parametrizada [1] pode ser escrita como

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right) \quad (1)$$

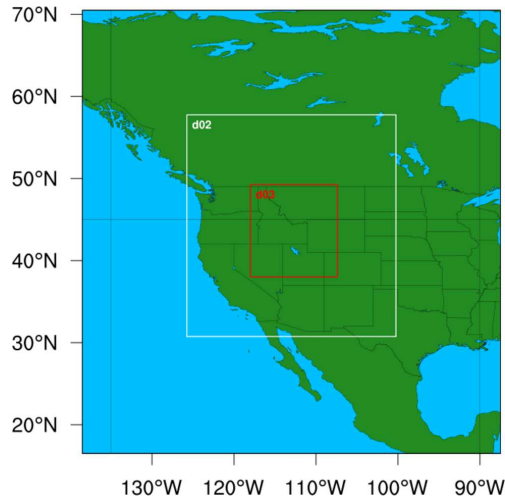


Figura 1: Configuração das grades que serão utilizadas no modelo WRF.

Tabela 1: Parametrizações utilizadas para rodar o modelo WRF.

Processo	Parametrização	Referências
Microfísica	Single-moment 3-class and 5-class Schemes	[13]
Radiação de onda curta	Dudhia Shortwave Scheme	[9]
Radiação de onda longa	RRTM Longwave Scheme	[7]
Camada de superfície	Eta Similarity Scheme	[2]
Superfície terrestre	Unified Noah Land Surface Model	[12]
Camada limite planetária	Mellor-Yamada-Janjic Scheme (MYJ)	[15]
Parametrização cumulus	Kain-Fritsch Scheme	[11]

Assumindo que a velocidade  $\bar{w}$  é nula e ainda que o coeficiente de difusão  $K_y$  tem dependência somente na direção  $z$  ( $K'_y = 0$ ), a equação (1) é escrita como

$$\begin{aligned}
 & -\bar{u} \frac{\partial \bar{c}(x, y, z)}{\partial x} - \bar{v} \frac{\partial \bar{c}(x, y, z)}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial \bar{c}(x, y, z)}{\partial x} \right) + \\
 & + K_y \frac{\partial^2 \bar{c}(x, y, z)}{\partial y^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial \bar{c}(x, y, z)}{\partial z} \right) = 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

A equação (2) é resolvida pela combinação das técnicas da transformada de Laplace e GILTT (Generalized Integral Laplace Transform Technique) [4–6]. Essa técnica da transformada integral combina uma expansão em série com uma integração. Na expansão, é usada uma base trigonométrica determinada com a ajuda de um problema auxiliar de Sturm-Liouville. A integração é feita em todo intervalo da variável transformada, fazendo

uso da propriedade de ortogonalidade da base usada na expansão. O sistema de equações diferenciais ordinárias resultante é analiticamente resolvido usando a transformada de Laplace e diagonalização. Os coeficientes de difusão foram parametrizados seguindo [8].

### 3 Resultados

O perfil vertical de temperatura potencial simulado pelo modelo WRF para o domínio 3 é mostrado na Figura 2. O perfil é típico de condições atmosféricas estáveis.

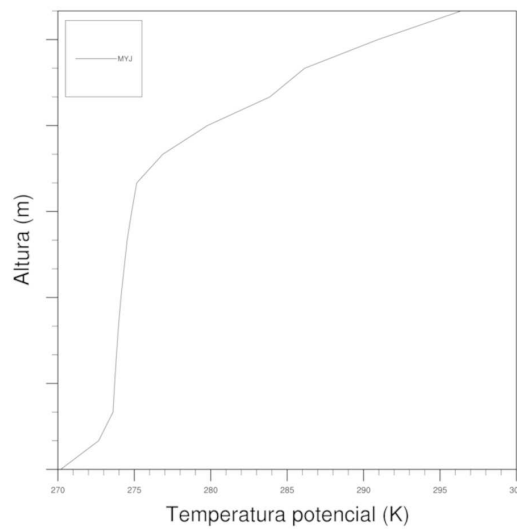


Figura 2: Perfil vertical de temperatura potencial simulado pelo modelo WRF no domínio 3 mostrado anteriormente na Figura 1.

As Figuras 3 e 4 mostram as funções de autocorrelação calculadas com base nos dados das componentes  $u$  e  $v$  do vento simuladas pelo modelo LES, onde podemos observar o lóbulo negativo. A razão (em módulo) entre os parâmetros de ajuste da componente  $u$  proposto por Frenkiel é 3,218696 e proposto por Degrazia 5,118161.

A razão (em módulo) entre os parâmetros de ajuste da componente  $v$  proposto por Frenkiel é 2,672536 e proposto por Degrazia 3,931066.

Por fim, determinou-se o campo de concentração, através das técnicas descritas acima, e podemos ver na Figura 5 a abertura da pluma de poluentes. Assim, a hierarquia dos modelos acima é capaz de simular a pluma de poluentes de forma satisfatória.

### 4 Conclusões

A pluma de poluentes é simulada de forma satisfatória através da arquitetura de modelagem apresentada aqui, ou seja, os perfis de temperatura potencial simulados pelo modelo WRF comprovam a condição de estabilidade do experimento INEL.

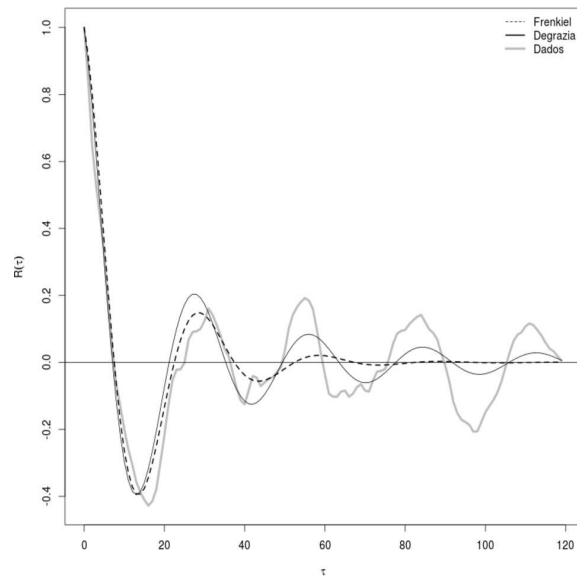


Figura 3: Função de autocorrelação da calculada com base na componente u do vento simulada pelo modelo LES.

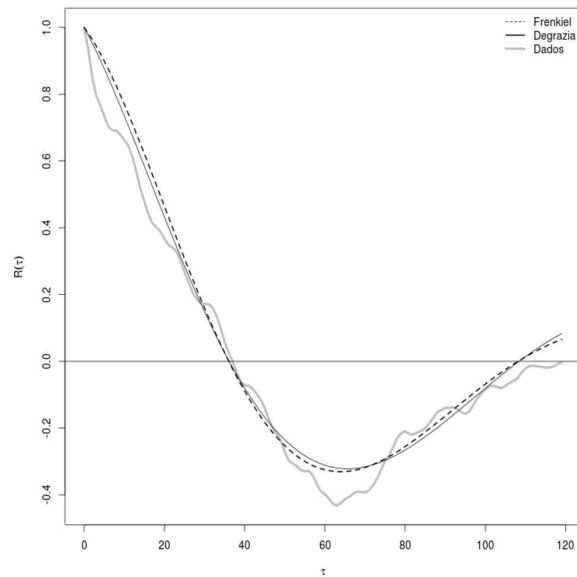


Figura 4: Função de autocorrelação da calculada com base na componente v do vento simulada pelo modelo LES.

As funções de autocorrelação mostram que havia características para ocorrência do fenômeno de meandro do vento, apresentando lóbulos negativos e parâmetros de ajuste maiores que um. Cabe ressaltar que esta é a primeira vez que o cálculo das funções de autocorrelação é aplicado para simulações LES durante o experimento INEL.

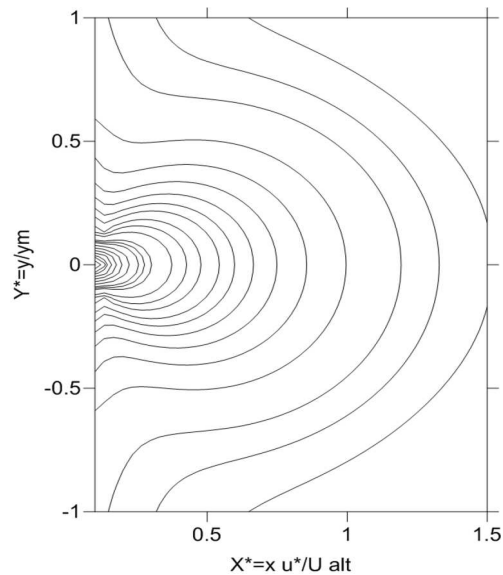


Figura 5: Pluma de poluentes simulada através da aplicação da técnica 3D-GILTT na equação de advecção-difusão.

Além do mais, a pluma de poluentes mostra as características esperadas, ou seja, com o máximo de concentração na fonte, diminuindo radialmente, conforme se afastamos da mesma. Portanto, a utilização de perfis de temperatura potencial proveniente de modelos de mesoescala é uma ferramenta bastante útil, na avaliação da qualidade do ar de uma determinada região.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro parcial para realização deste trabalho.

## Referências

- [1] A. K. Blackadar, Turbulence and diffusion in the atmosphere: lectures in Environmental Sciences, *Springer-Verlag*, 1997.
- [2] A. S. Monin, A. M. Obukhov, Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere, (2008) 1-30.
- [3] D. Anfossi, D. Oetl, G. Degrazia, A. Goulart, An analysis of sonic anemometer observations in low wind speed conditions, *Boundary-Layer Meteorology*, 114(2005) 179-203.

- [4] D. Buske, M. T. Vilhena, D. M. Moreira, T. Tirabassi, Simulation of pollutant dispersion for low wind conditions in stable and convective planetary boundary layer, *Atmospheric Environment*, 41(2007) 5496-5501.
- [5] D. Buske, M. T. Vilhena, T. Tirabassi, B. Bodmann, Air pollution steady state advection-diffusion equation: the general three-dimensional solution, *Journal of Environmental Protection*, 4(2012) 1-10.
- [6] D. Moreira, M. T. Vilhena, D. Buske, T. Tirabassi, The state-of-art of the GILTT method to simulate pollutant dispersion in the atmosphere, *Atmospheric Research*, 92(2009) 1-17.
- [7] E. J. Mlawer, S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave, *Journal of Geophysical Research*, 102(1997) 16,663-16,682.
- [8] G. A. Degrazia, M. T. Vilhena, O. L. L. Moraes, An algebraic expression for the eddy diffusivities in the stable boundary layer: a description of near-source diffusion, *Il Nuovo Cimento*, 19C(1996) 399-403.
- [9] J. Dudhia, Numerical Study of Convection Observed during the Winter Monsoon Experiment Using a Mesoscale Two-Dimensional Model, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46(1989) 3077-3107.
- [10] J. F. Sagendorf, C. R. Dickson, Diffusion under low wind-speed, inversion conditions, Technical Memorandum ERL ARL-52.
- [11] J. Kain, The Kain-Fritsch Convective Parameterization: An Update, *Journal of Applied Meteorology*, 43(2004) 170-181.
- [12] M. Tewari, F. Chen, W. Wang, J. Dudhia, M. A. Lemone, K. Mitchell, M. Ek, G. Gayno, J. Wegiel, R. H. Cuenca, Implementation and verification of the unified noah land surface model in the WRF model, *20th Conference on Weather Analysis and Forecasting/16th Conference on Numerical Weather Prediction*, 2004.
- [13] S. Hong, J. Dudhia, S. Chen, A Revised Approach to Ice Microphysical Processes for the Bulk Parameterization of Clouds and Precipitation, *Monthly Weather Review*, 132(2004) 103-120.
- [14] S. Raasch, PALM Overview, Disponível em <http://palm.muk.uni-hannover.de/trac/chrome/site/tutorial/WEB/>. Acesso em 12 março de 2017.
- [15] Z. I. Janjic, The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes, *Monthly Weather Review*, 122(1994) 927-945.