

SIMULAÇÕES DO PERFIL VERTICAL DO VENTO COM O MODELO WRF PARA O CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA E ESTATÍSTICAS DE DADOS

Adaiana F. G. da Silva¹, Gilberto Fisch²

¹CPTEC/INPE - São José dos Campos, SP; ²ACA/IAE/DCTA - São José dos Campos, SP

RESUMO: Apresentam-se aqui resultados preliminares de um trabalho de dissertação em andamento, o qual pretende avaliar a capacidade do modelo WRF em realizar previsões do perfil vertical do vento para o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), para aplicação em ocasiões de lançamentos de foguetes. As simulações são comparadas com dados de radiossondagens através de três métricas estatísticas diferentes. Foram realizadas ainda uma análise de consistência e tratamento estatístico dos dados observados e uma série de testes de sensibilidade do modelo para avaliação de parâmetros dinâmicos e físicos. O modelo foi inicializado com dados de previsão do GFS, com resolução espacial de 0,5° e temporal de 6 horas. Resultados preliminares mostram pouca sensibilidade do modelo à maioria dos parâmetros e comportamento oscilatório dos índices com o tempo de integração.

ABSTRACT: We present here preliminary results of a dissertation in progress, which aims to assess the ability of the WRF model to make predictions of the vertical wind profile for the Alcantara Launch Center (CLA), for use in occasions of rocket launches. The simulations are compared with radiosonde data using three different statistical metrics. There were also a consistency analysis and processing of the data observed and a series of tests the sensitivity of the model for evaluation of physical and dynamic parameters. The model was initialized with GFS forecast data, with spatial resolution of 0.5 ° and time to 6 hours. Preliminary results show low sensitivity of the model to the majority of the parameters and oscillatory behavior of the indexes on the integration time.

1. INTRODUÇÃO

O CLA é considerado o “portal brasileiro para o espaço”. A importância de se conhecer bem o vento local está no fato de que as suas características podem impactar direta e profundamente na trajetória de um foguete em lançamento, podendo desviá-lo, causar imprevistos e até mesmo acidentes. Não somente os padrões climatológicos do perfil, velocidade e direção predominantes, mas também suas condições exatas no momento do lançamento são cruciais para a segurança da operação. Uma alternativa para o prognóstico da determinação do perfil do vento é a previsão feita a partir de modelagem numérica. Observações realizadas com antecedência geram as condições iniciais necessárias para simular a dinâmica da atmosfera e representar o estado futuro a partir do tempo presente, e então prever como estarão as condições meteorológicas (no caso, o perfil do vento) no momento desejado.

A cidade de Alcântara localiza-se na região nordeste brasileira, no norte do estado do Maranhão, próximo de sua capital, São Luís. O CLA foi criado no ano de 1983 e encontra-se a aproximadamente 50 metros de altitude, próximo a uma falésia na costa litorânea do Oceano Atlântico Equatorial. Apesar desta falésia, o relevo da região é basicamente plano. Na região equatorial, o regime de ventos é dominado pelos ventos alísios, que são fortes, persistentes e predominantemente de leste, com uma rotação sazonal de sudeste para nordeste, em função do posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A região do CLA tem duas estações bem definidas ao longo do ano: uma estação ventosa e seca, que abrange os meses de julho a dezembro, cujos ventos são compostos pelos alísios associados ao efeito de brisa marítima (intensificada neste período), e outra estação com ventos mais fracos e úmida, que abrange os meses de janeiro a junho e cujos ventos são basicamente os alísios (FISCH, 1999).

2. DADOS E MÉTODOS

Os dados de observação utilizados neste trabalho foram obtidos em duas campanhas de radiossondagens realizadas no CLA, uma representativa da estação seca (Operação Murici II, setembro de 2008) e a outra da estação chuvosa (Projeto Chuva, março de 2010), com o objetivo de avaliar o comportamento do modelo em função da sazonalidade. Destas campanhas, 36 dias com alta densidade temporal de dados de radiossondagem serão utilizados, sendo 1 sondagem a cada 6 horas. Entretanto, os testes serão realizados com apenas 2 datas por estação. Para confirmar a representatividade climatológica dos dados utilizados com relação às estações, eles foram submetidos a testes de consistência através de estatísticas (médias e desvios-padrão) para u , v , velocidade e direção do vento, para cada período separadamente.

O modelo atmosférico *Advanced Research WRF*, versão 3.2.1, foi iniciado com dados provenientes da previsão do *Global Forecasting System (GFS)* do *National Center for Environment Prediction (NCEP)*, com resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ e temporal de 6 horas. Todas as simulações foram realizadas com três domínios quadrados e centralizados no CLA, sendo um domínio mãe e dois aninhados, comunicação bidirecional de dados entre eles, passo de tempo de 54, 18 e 6 segundos e resoluções de terreno de $5'$, $2'$ e $30''$ respectivamente para os domínios 1, 2 e 3, cujos dados foram fornecidos pelo *United States Geological Survey (USGS)*. O espaçamento da grade do domínio menor foi de 1×1 km, aumentando na proporção de 3 para os outros dois domínios. As saídas do modelo (perfis verticais do vento) são confrontadas contra radiossondagens a cada 6 horas através de três índices estatísticos: viés, erro quadrático médio e índice de concordância de Willmott (WILLMOTT, 1981), obtendo como representativo um valor médio ao longo da camada até 5000 m.

Os testes de sensibilidade dinâmicos estão resumidos na Tabela 2.1. Para a configuração definida como padrão a partir destes testes (seção seguinte, resultados), foram aplicadas quatro diferentes parametrizações físicas de camada limite planetária (CLP), listadas a seguir:

- _ YSU (Yonsei University Scheme) – esquema de fechamento de 1ª ordem, não-local;
- _ ACM2 (Asymmetric Convective Model version 2) – fechamento de 1ª ordem, não-local;
- _ MYNN2 (Mellor-Yamada Nakanishi and Niino Level 2,5) – fechamento de energia cinética turbulenta (TKE), local;
- _ MYJ (Mellor-Yamada-Janjic Scheme: ETA operational scheme) – fechamento TKE, local.

Nas parametrizações de camada superficial, foi utilizada a similaridade MM5 exceto quando a parametrização de CLP foi MYJ, que exige a similaridade ETA.

As demais parametrizações foram mantidas *default* (Microfísica: WRF Single-Moment 3-class; Radiação: RRTM para ondas longas e Dudhia para ondas curtas; Modelo de Solo-Superfície: Noah LSM; *Cumulus*: Kain Fritsch nos domínios 1 e 2 e nenhum no domínio interno (explícito).

Tabela 2.1 – Resumo rodadas teste de sensibilidade – parâmetros dinâmicos.

| Tamanho domínios | 1170 x 354 x 106 km | | | | 900 x 264 x 76 km | | | | 594 x 264 x 106 km | | | | |
|---------------------|---------------------|----|----|----|-------------------|----|----|----|--------------------|---|----|---|----|
| Níveis verticais | 27 | | 42 | | 27 | | 42 | | 27 | | 42 | | |
| <i>Spin-up time</i> | 6 | 24 | 6 | 24 | 6 | 24 | 6 | 12 | 24 | 6 | 24 | 6 | 24 |

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo de consistência dos dados realizado na primeira parte do trabalho revelou características coerentes com a climatologia. Algumas podem ser verificadas na Figura 3.1. Entre estas, está a confirmação de que a direção predominante do vento na superfície é de nordeste e, na média da camada até 5000 m, de leste, em concordância com o regime de ventos alísios e também com resultados de Fisch (1997; 1999). A componente zonal, representativa dos ventos alísios, é predominante em relação à componente meridional. Na comparação entre as duas estações, é visível que a velocidade é maior no período seco do que no período chuvoso, o que está de acordo com estudos anteriores, como os citados acima. Os perfis dos quatro horários sinóticos da estação seca (não mostrado) indicaram uma forte rotação da direção do vento para sudeste próximo de 2000 m (observada por FISCH, 1997) e grandes amplitudes de velocidade ao longo do eixo vertical. Por fim, a variabilidade das médias e desvios-padrão em curtos intervalos de altura é ligeiramente menor na estação seca, ou seja, há menos cisalhamento do vento. Isto é devido à maior persistência do vento nesta estação, novamente comprovando estudos anteriores realizados para outras campanhas (anos de 1995 a 1997 e 2005).

Partindo para os testes de sensibilidade do modelo, os índices mostraram pouca influência da variação do tamanho do domínio e do tempo de *spin-up*, com diferenças na ordem de 10^{-3} e 10^{-2} para Willmott e de 10^{-2} e 10^{-1} m/s para os erros. Dessa forma, será ponderado o tempo de simulação e também o tamanho do domínio externo intermediário, pois é importante que este seja grande o suficiente para captar fenômenos de grande escala que forcem os ventos nos níveis superiores que, por sua vez, influenciam os ventos nos níveis mais baixos. A Figura 3.2 mostra

a configuração dos domínios escolhida. Para os tempos de ajuste, descarta-se a opção de 24 horas, que apresentou erros discretamente maiores, ficando a opção por 6 ou 12 horas, concordando, inclusive, com a maioria dos trabalhos encontrados na literatura. Já quanto ao número de níveis verticais, os 42 níveis se mostraram mais eficazes, confirmando que o *default* do programa não é adequado para grandes resoluções horizontais.

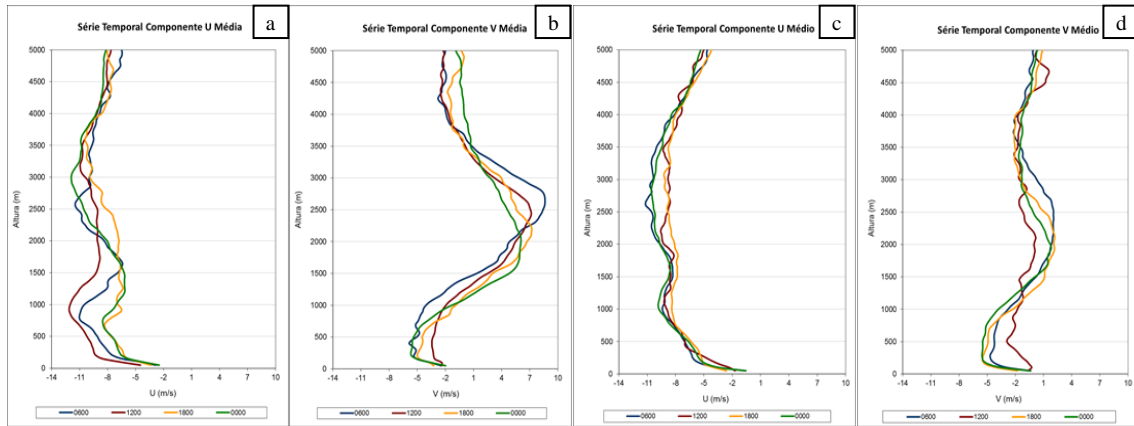


Figura 3.1 – Séries temporais das componentes do vento para setembro 2008 (a e b) e março 2010 (c e d).

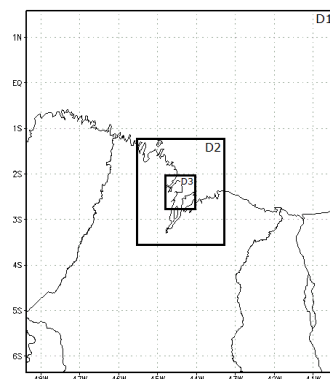


Figura 3.2 – Configuração de tamanhos dos três domínios aninhados.

Resultados para os testes de parametrizações físicas são mostrados na Figura 3.3. ACM2 e MYNN2,5 apresentam os resultados mais semelhantes e os menores erros, no geral. O esquema MYJ (ETA) é descartado por apresentar comportamento discrepante dos demais. A escolha entre os dois esquemas deverá ser feita baseada em sua física.

O esquema ACM2 (PLEIM, 2007) possui ambas as componentes local e não-local, combina componentes tanto de escala super e subgrade e, ao adicionar uma componente de difusão de vórtices ao transporte não-local, pode representar melhor a forma de perfis verticais. Mostra-se adequado para transporte consistente de qualquer quantidade atmosférica na CLP, mas não eficiente na estação chuvosa, podendo originar uma cobertura nebulosa excessiva no topo da CLP. Por outro lado, o esquema MYNN (NAKANISHI and NIINO, 2006) mostra-se mais adequado para a estação chuvosa, especialmente em situações de mudança de fase na CLP e em nevoeiros. Inclui física de condensação, considerando θ e conteúdo de água líquida na CLP. A nova versão garante estabilidade numérica e menor custo computacional. Dessa forma, ficou

definida a utilização do esquema MYNN2,5 para o período chuvoso e ACM2 para o período seco.

Um comportamento em comum de todos os testes foi o padrão oscilatório, não havendo uma piora linear dos resultados com o tempo. Além disso, parece haver um ciclo diário, com erros maiores durante o dia do que à noite (12 e 00 UTC), apesar de os menores (maiores) valores de Willmott (erros) serem durante as últimas horas de integração e os maiores (menores), durante as primeiras.

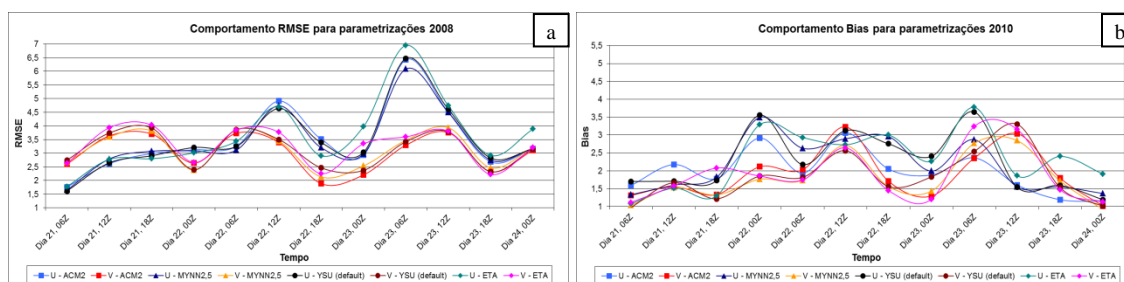


Figura 3.3 – Erro quadrático médio para setembro de 2008 (a) e viés para março de 2010 (b).

4. COMENTÁRIOS FINAIS

O presente trabalho confirmou a representação climatológica dos dados observados utilizados para comparação com simulações do modelo WRF. Testes mostraram pouca sensibilidade do modelo ao tamanho do domínio e ao tempo de *spin-up* e que o aumento na resolução horizontal exige também melhor resolução vertical. Para os parâmetros físicos, observou-se que não há grandes diferenças entre os quatro esquemas testados. Entretanto, a física de cada um levou a definir os esquemas ACM2 e MYNN2,5 para os períodos seco e chuvoso, respectivamente. Também foi observado padrão oscilatório dos índices com o tempo de integração do modelo. Nas próximas etapas do trabalho, serão realizadas as demais rodadas para todos os 36 dias. Encontra-se em fase de implementação a assimilação de dados de radiossondagens para entrada no modelo, através da função “WRF Data Assimilation” (WRFDA).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FISCH, G. Ventos em altitude na costa litorânea do Maranhão. **Boletim de Monitoramento Hidroclimático**, v. 2, p. 43-7, 1997.

_____. Características do perfil vertical do vento no Centro de Lançamento de foguetes de Alcântara (CLA). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n. 1, p. 11-21, 1999.

NAKANISHI, M.; NIINO, H. An improved Mellor-Yamada level-3 model: Its numerical stability and application to a regional prediction of advection fog. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 119, n. 2, p. 397-407, 2006.

PLEIM, J. E. A combined local and non-local closure model for the atmospheric boundary layer. Part 1: Model description and testing. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 46, n. 9, p. 1383–1395, 2007.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.