



**Análise do Desempenho dos Modelos MM5 e WRF na
Simulação da Temperatura do Ar em Superfície na RMRJ**

MM5 and WRF Performance Analysis Through Simulation of Surface Air Temperature in MRRJ

Nilton Oliveira Moraes; Edilson Marton & Luiz Claudio Gomes Pimentel

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências - Departamento de Meteorologia. Av. Athos da Silveira Ramos, s/n
- Bloco H, Sala H2-014 - Cidade Universitária, Ilha do Fundão 21941-916 - Rio de Janeiro/RJ, Brasil*

E-mails: moraes.nilton@gmail.com; edilson.marton@ufrj.br; pimentel65@gmail.com

Recebido em: 07/09/2014 Aprovado em: 15/11/2014

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2014_2_161_168

Resumo

A dinâmica de urbanização nas metrópoles produz um ambiente urbano altamente degradado, com muitos efeitos graves sobre a qualidade de vida da população. Na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) o uso intensivo das atividades antrópicas causam problemas ambientais, observando-se dentre outros a modificação do solo proporcionando o surgimento do fenômeno de Ilha de Calor Urbana (ICU).

O presente trabalho objetiva avaliar o desempenho dos modelos meteorológicos MM5 e WRF em simular a variável temperatura do ar próximo à superfície na RMRJ. Os modelos são comparados baseados em índices estatísticos e dados observacionais em um período em que houve a ocorrência do fenômeno de ICU. Nas avaliações é analisado o ciclo diário de temperatura do ar e índices estatísticos a partir dos dados simulados e dados observados.

Os resultados apontam um desempenho satisfatório de ambos os modelos em reproduzir o ciclo diário de temperatura do ar próximo à superfície para todo o período de estudo, com uma ligeira tendência dos dados simulados em subestimar as temperaturas máximas observadas e superestimar as mínimas temperaturas observadas. Os índices estatísticos revelam desempenho semelhante entre o MM5 e WRF, e uma adequada aderência aos dados observados de temperatura nas estações SBGL, SBAF, SBJR e SBSC. Os maiores desvios entre os dados simulados e observados ocorreram na estação SBRJ.

A análise conjunta da variação temporal e dos índices estatísticos mostrou a habilidade dos modelos meteorológicos em representar a temperatura do ar próximo à superfície tanto na distribuição espacial bem como na variação temporal, e desta forma, existe uma confiabilidade em estudar o fenômeno de ICU através dos modelos MM5 e WRF na RMRJ.

Palavras-chaves: temperatura do ar; estatística; WRF; MM5

Abstract

The urbanization dynamics in big cities produces a highly degraded environment with serious damages to human life quality. The Metropolitan Region of Rio de Janeiro (MRRJ) have been exposed to several anthropogenic activities that produces environmental problems, for example: the intense modification of soil cover behind the phenomenon of Urban Heat Island (UHI).

This study evaluates the performance of MM5 and WRF meteorological models to simulate the near surface air temperature variable in MRRJ. The model results are compared with observational data using statistical indexes to a period of UHI occurrence.

The evaluation uses the daily cycle of air temperature and statistical indexes between simulated and observed data. The result shows a satisfactory performance of both models to reproduce the daily cycle of near surface air temperature for the entire study period. A slightly tendency to underestimate the maximum temperatures were observed on simulated results, as well as an overestimate of minimum temperatures. Analyzing the statistical indexes, a similar performance between the MM5 and WRF were presented according the observed data from SBGL, SBAF, SBJR, and SBSC stations. The largest deviations between predicted and observed results occurred to SBRJ station.

The analysis of temporal variation and statistical indices showed that MM5 and WRF meteorological models are able to represent the near surface air temperature both to spatial distribution as to temporal variation.

Keywords: air temperature; statistical; WRF; MM5

1 Introdução

Atualmente, os grandes centros mundiais estão sofrendo com as consequências do incorreto planejamento urbano, seu deficiente ordenamento territorial e seu errôneo modelo de desenvolvimento (Vianna Teza & Mello Baptista, 2005). Segundo os autores, o modelo de desenvolvimento sustentável previsto pela Conferência de Estocolmo para o Desenvolvimento e Meio Ambiente, realizada no ano de 1972, não teve sua essência captada e o meio-ambiente urbano não tem sido capaz de assimilar os resíduos sólidos, líquidos e gasosos descartados continuamente, principalmente nas metrópoles mundiais. Esse processo vem causando uma situação de degradação ambiental, principalmente nas áreas densamente urbanizadas.

Dentro do espaço urbano os problemas ambientais atingem um maior grau, observando-se maiores concentrações de poluentes do ar e da água além da degradação do solo e subsolo, em virtude do uso intensivo do território pelas atividades urbanas. Essas regiões metropolitanas, entre elas a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), possuem um microclima bastante modificado, devido à urbanização e a concentração de poluentes, que por sua vez alteram drasticamente a distribuição espacial e temporal do campo de temperatura e do regime de precipitação (Lombardo, 1985; Henderson-Sellers & Robison, 1999). Segundo Vianna Teza & Mello Baptista (2005) uma das consequências geradas pelo processo de ocupação e desenvolvimento nessas metrópoles é o fenômeno da Ilha de Calor Urbana (ICU). O processo de formação da ICU é resultado da intensificação da temperatura nas zonas urbanizadas, devido aos processos antropogênicos, em comparação com as zonas periféricas ou rurais, conduzindo à formação de um gradiente horizontal de temperatura entre essas áreas (Stull, 1988; Oke, 1982). Dentre os principais fatores que controlam o mecanismo de formação e desintensificação da ICU, destacam-se: a caracterização da cidade (corpos d'água, vegetação, uso do solo, arquitetura, os materiais de construção e fontes antropogênicas), a localização geográfica, a topografia, a climatologia urbana, a sazonalidade e as condições sinóticas da atmosfera (Oke, 1982). Estudos de cunho observacional têm grande importância na determinação de parâmetros de superfície e atmosféricos que são relevantes na formação e manutenção desses gradientes térmicos horizontais (Oke, 1976; 1982).

Por outro lado, a simulação computacional nas últimas décadas tem se aperfeiçoado, buscando

representar os processos dinâmicos e termodinâmicos associados à interação dos sistemas em escala local até a sinótica na atmosfera, como os processos de formação e desintensificação da ICU. Na literatura científica, estudos recentes destacam o uso de modelos regionais, como WRF e MM5, objetivando reproduzir processos físicos característicos da ICU e sua inter-relação com os sistemas de brisa terra-mar e a influência dos sistemas sinóticos de alta pressão (Chemel & Shoki, 2012; Kusaka *et al.*, 2012; Salamanca *et al.*, 2012; Ning *et al.*, 2011; Lin *et al.*, 2008; Dandou *et al.*, 2009).

Considerando a importância da modelagem computacional para o estudo da ilha de calor urbana, o presente trabalho tem como objetivo avaliar comparativamente os modelos meteorológicos MM5 e WRF, com base em índices estatísticos e dados observacionais, para um período de ocorrência de ICU na RMRJ.

2 Material e Método

2.1 Região de Estudo

A RMRJ possui características peculiares, tais como: a topografia acentuada, a existência de duas baías e a presença do mar, conforme a Figura 1. Essas características geográficas são capazes de gerar efeitos locais que perturbam a circulação atmosférica de escala sinótica. Na região estão localizadas cinco estações meteorológicas de superfície dos aeroportos do Galeão (SBGL), Santos Dumont (SBRJ), Afonsos (SBAF), Jacarepaguá (SBJR) e Santa Cruz (SBSC), como indicado na Figura 1, cujos dados meteorológicos do código METAR foram utilizados no estudo. As estações SBGL e SBRJ estão localizadas próximas a Baía de Guanabara e a estação SBSC localiza-se próximo a Baía de Sepetiba. De acordo com Pimentel *et al.* (2014), essas três estações apresentam seus regimes de vento diretamente influenciados pelas brisas marítimas e terrestres. A estação SBAF é a estação mais continental e se encontra localizada entre o maciço do Mendanha e os maciços da Tijuca e da Pedra Branca, paralelos à orla marítima e que atuam como barreira física nas circulações dos ventos. Os maciços da Pedra Branca e da Tijuca também interferem nas condições meteorológicas na estação SBJR, além de sofrer a influência das brisas devido à proximidade do mar.



Figura 1 Geografia da RMRJ e a localização dos aeródromos SBGL, SBRJ, SBAF, SBJR e SBSC.

2.2 Modelos MM5, WRF e Configurações

Os modelos atmosféricos MM5 (*Mesoscale Modeling System*) e WRF (*Weather Research and Forecast*) são modelos de mesoescala que possuem a capacidade de múltiplos domínios aninhados, dinâmica não hidrostática, assimilação de dados em 4 dimensões (x, y, z e t), várias opções de parametrizações físicas e portabilidade em diversas plataformas computacionais. O MM5 e o WRF resolvem as equações físicas para o fluido compreensível e considera as variáveis escalares conservativas. Os sistemas de coordenadas verticais seguem a topografia e considera o topo da atmosfera com pressão constante.

Nas simulações realizadas por ambos os modelos foram utilizados 4 domínios (Figura 2), sendo o primeiro o mais abrangente e de menor resolução espacial e outros três domínios aninhados, com resoluções espaciais horizontais decaindo na proporção de 3:1 (Tabela 1), para que a interação bidirecional entre os domínios seja realizada com sucesso pelos modelos. As grades foram aninhadas de forma que o domínio de número 3 (resolução de 4,1 km) abrangesse a Baía de Sepetiba e a Baía de Guanabara, e o domínio 4 (resolução 1,37 km) englobasse os maciços do Gericinó, Pedra Branca e da Tijuca. O domínio maior é centrado na latitude de $22,73^{\circ}$ S e longitude de $43,17^{\circ}$ W, próximo ao aeroporto do Galeão. Todos os domínios foram configurados com 52 níveis sigma na vertical. Nesses domínios foram utilizados os dados de topografia e dados de elevação USGS, com diferentes resoluções espaciais conforme a Tabela 1.

Os modelos possuem opções de parametrizações físicas para processos de superfície, camada limite, radiação, cumulus e microfísica de nuvens. No MM5 e WRF o modelo de solo é

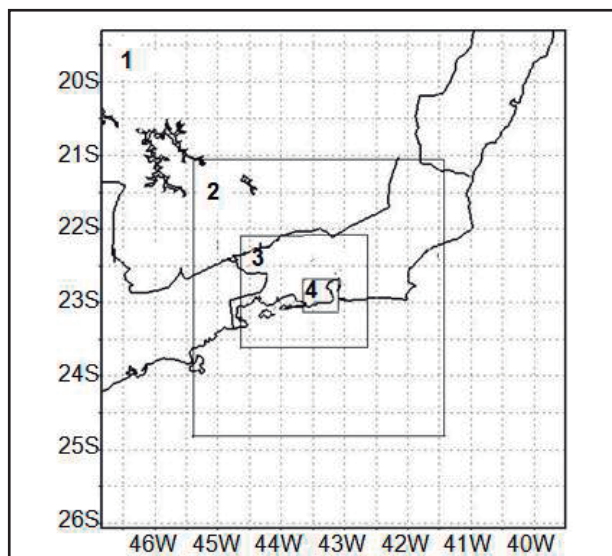


Figura 2 Domínios numerados de 1 a 4 utilizados nas simulações dos modelos MM5 e WRF.

NOAH LSM (Chen & Dudhia, 2001), que possui uma camada de dossel e utiliza para prognóstico a umidade e temperatura nas camadas do solo, além da água armazenada na camada do dossel. A parametrização de microfísica é o esquema *Simple Ice* (Dudhia 1989) em que os campos de água de chuva e nuvem são prognosticados explicitamente com processos microfísicos e a parametrização de Cumulus é o modelo de Grell (1993) usado para capturar precipitação convectiva de grande escala e utilizada apenas em domínios com resolução espacial maior que 10Km. O esquema de radiação é Dudhia (1989) tanto para onda longa quanto para onda curta. Para Camada Limite Atmosférica (CLA) utilizou-se o esquema Mellor-Yamada-Janjic (1990, 1996, 2002) no qual os fluxos de calor e umidade são calculados pela teoria da similaridade. O WRF ainda usa para a camada de superfície o modelo desenvolvido por Janjic (1996, 2002), enquanto que no MM5 a camada de superfície está na formulação da CLA.

Os modelos MM5 e WRF são inicializados com dados meteorológicos provenientes do modelo global GFS (*Global Forecast System*) do NCEP (*National Centers for Environment Prediction*). Esses dados são assimilados pelos modelos, possuindo uma resolução espacial de 0,5 graus de latitude/longitudes e uma resolução temporal de 3 horas, sendo que no horário das 00Z, os dados são referentes à análise e nos horários das 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21Z referentes à previsão. Essa base de dados fornece as condições iniciais e de contorno para o MM5 e WRF.

Domínios				
Domínios	Pontos em x e y	Resolução Espacial (km)	Dimensão da grade - (°) (Latitude/Longitude)	Topografia USGS (km)
1	24 x 24	37	-26.0633-19.3135	19
			-46.8308-39.5092	
2	37 x 37	12.3	-24.6599-21.0833	9
			-45.2777-41.3962	
3	43 x 43	4.1	-23.5800-22.1832	1
			-44.2054-42.6884	
4	43 x 43	1.37	-23.1840-22.7186	1
			-43.6261-43.1218	

Tabela 1 Características de cada domínio utilizado nas simulações.

2.3 Período de Estudo e Método de Avaliação

Neste trabalho é feita uma síntese dos sistemas sinóticos que atuaram na Região Sudeste na primeira quinzena do mês de setembro de 2007. Para esta análise foram utilizadas cartas sinóticas da Divisão de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha, imagens do satélite GOES-10 no canal infravermelho do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e dados das reanálise do NCEP. Com base nessa análise foi definido um período de estudo em que ocorreu o predomínio da atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

As análises dos resultados do MM5 e WRF são qualitativas e quantitativas, de forma a avaliar o desempenho dos modelos em representar comportamentos físicos de acordo com a observação. Em ambas as análises os dados observados são oriundos do código meteorológico METAR, obtidos das estações meteorológicas dos aeródromos, conforme localizados na Figura 1.

A avaliação qualitativa do MM5 e WRF consiste em analisar o desempenho dos modelos em relação aos dados observados através de séries temporais de temperatura do ar, com o objetivo de mostrar a eficiência dos modelos em representar a evolução temporal e espacial da temperatura do ar próximo à superfície. Na avaliação quantitativa foram calculados índices estatísticos entre os resultados simulados e dados observados para temperatura do ar. Esses índices estatísticos indicam o desempenho do modelo baseados no coeficiente de correlação, medida do erro, dispersão dos dados e se os modelos subestimam ou superestimam os dados observados de temperatura do ar próximo à superfície.

Os índices escolhidos para este trabalho, de acordo com Hanna (1989), são descritos a seguir,

onde “P” representa os valores prognosticados pelos modelos e “O” representam os valores observados.

O coeficiente de correlação (COR) determina qual é a relação linear entre os valores de “P” e do “O”, dada pela seguinte expressão:

$$COR = \frac{Cov(P, O)}{\sigma_P \cdot \sigma_O}$$

Onde, σ_P e σ_O representam, respectivamente, os desvios padrões de “P” e “O”.

A covariância é dada por:

$$Cov(P, O) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \mu_P) (O_i - \mu_O)$$

Onde, n é o número de elementos utilizados no cálculo e μ_P e μ_O são as médias dos valores simulados e observados. O valor da correlação pode assumir valores de -1 a 1, sendo 1 considerado um valor ótimo.

O erro quadrático médio normalizado (EQMN) é a média quadrática da diferença entre “P” e “O” sendo que os melhores valores são próximos a zero

$$EQMN = \frac{\overline{(O - P)^2}}{O \cdot P}$$

O erro absoluto médio (EAM) é a soma dos valores absolutos dos erros. Assim como o EQMN, os melhores valores são próximos de zero. O EAM é expresso como:

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_i |P_i - O_i|$$

O BIAS indica a direção média dos desvios dos dados previstos a partir de valores observados. Esse índice mostra a tendência de erro ou vício dos modelos. Valores acima de 0 indicam superestimativa e valores abaixo de 0 indicam subestimativa dos modelos. O valor ideal é 0. Contudo, se houver erros compensatórios o valor do índice pode ser 0 com uma previsão ruim. O BIAS é calculado pela seguinte relação:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_i P_i - O_i$$

No desvio fracional (Fb), os valores podem variar entre -2 e 2, sendo 0 considerado ideal. Para valores positivos o modelo subestima o dado observado e para valores negativos o modelo superestima. Este índice, como é normalizado, informa percentualmente o quanto os dados previstos estão subestimando ou superestimando os dados observados.

$$Fb = \frac{2(\bar{O} - \bar{P})}{(\bar{O} + \bar{P})}$$

O desvio fracional padrão (Fs), calculado em função dos respectivos desvios padrões da previsão e observação σ_P e σ_O , indica se a dispersão simulada em torno da média da variável é superestimada ou subestimada.

$$F_s = \frac{2(\sigma_O - \sigma_P)}{\sigma_O + \sigma_P}$$

3 Resultados

A seguir são apresentadas uma análise sinótica para a primeira quinzena do mês de setembro de 2007 e comparações para a temperatura do ar entre os campos simulados pelos modelos MM5 e WRF e os dados observados a 2 metros da superfície, referentes aos aeródromos SBGL, SBRJ, SBAF, SBJR e SBSC. Os resultados do modelo foram extraídos nos pontos de latitude/longitude mais próximos a localização dos aeródromos, considerando o domínio com o maior refinamento da grade (1,37 km), exceto para os

dados da SBSC, em que os resultados da modelagem foram extraídos do domínio com resolução de 4,1Km, devido ao posicionamento desse aeródromo se encontrar externo à grade mais aninhada. Essa análise possibilita avaliar a habilidade do modelo em reproduzir as variações espaciais e temporais da temperatura na RMRJ e, conseqüentemente, o processo de formação e desintensificação da ICU.

3.1 Análise Sinótica

No mês de setembro de 2007 foram observadas duas situações atmosféricas distintas atuando na região Sudeste. Na primeira quinzena do mês houve o predomínio do sistema de alta pressão em superfície e conseqüente circulação anticiclônica na baixa e média troposfera sobre as regiões Sul e Sudeste e oceano adjacente, conforme a síntese sinótica do CPTEC de Setembro de 2007. O predomínio do sistema de alta pressão no Rio de Janeiro pode ser verificado pela proximidade da ASAS na costa leste do continente conforme ilustrado na Figura 3A, que destaca essa influência a partir da média da altura geopotencial e vento em 1000 hPa no período de 4 a 14 de setembro. Na média troposfera, a situação de bloqueio pode ser verificada na Figura 3B, média no mesmo período para a altura geopotencial e vento em 500 hPa. Destaca-se ainda na Figura 3B a acentuada curvatura anticiclônica no Atlântico Sul e Regiões Sul e Sudeste do Brasil configurando, portanto, um padrão “omega invertido” no escoamento em níveis médios, típico de uma situação de bloqueio (Coughlan,1983; Nascimento, 1998). Desta forma, os deslocamentos dos sistemas frontais ao longo da costa leste das regiões Sul e Sudeste ficam bloqueados ou desviados zonalmente no Atlântico Sul.

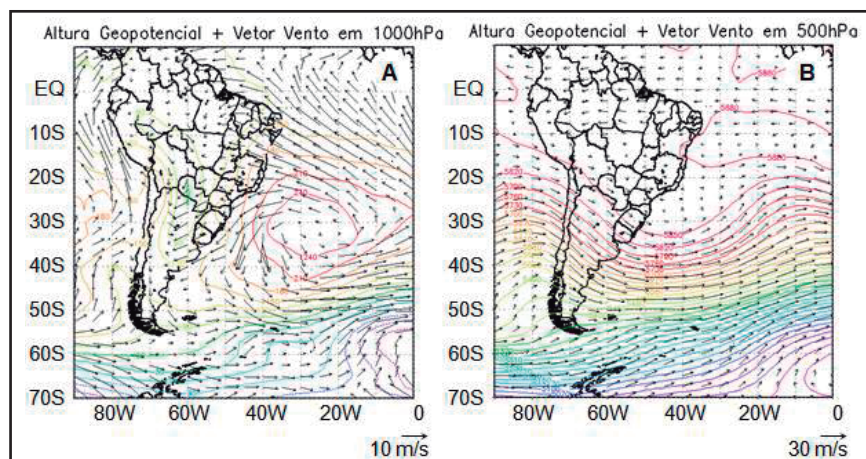


Figura 3 Média da altura geopotencial e vetor vento entre os dias 04 e 14 às 00Z. A nível de 1000 hPa e B nível de 500 hPa.

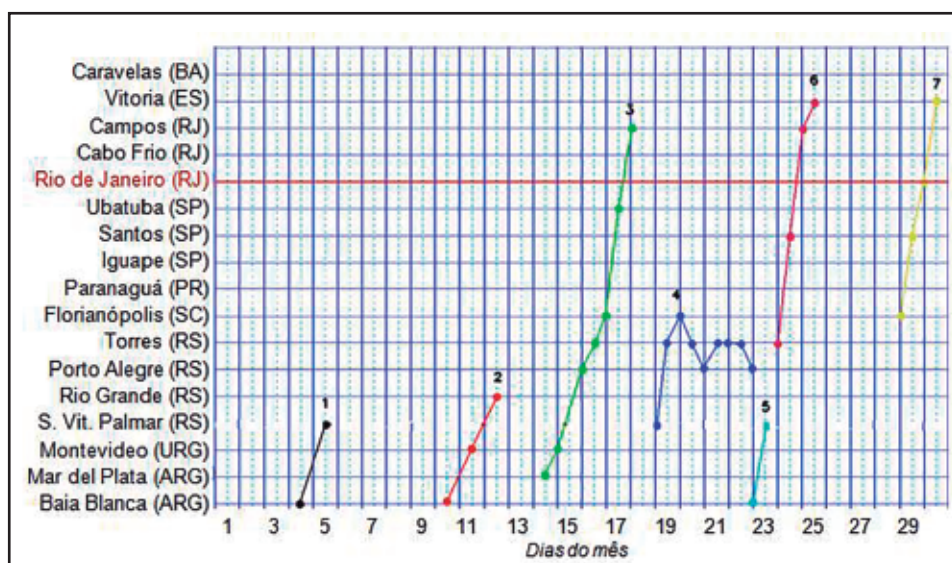


Figura 4 Passagem de sistemas frontais no litoral do Brasil e algumas cidades na Argentina no mês de setembro de 2007. A linha horizontal vermelha destaca a latitude do Rio de Janeiro. Dos sete registros de sistemas frontais, três deles atingem o Rio de Janeiro. Fonte: CPTEC, <http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/7410>

Na segunda quinzena, o bloqueio atmosférico se desfaz, permitindo o avanço de sistemas frontais em direção a latitudes mais baixas. A Figura 4 ilustra a passagem de perturbações atmosféricas ao longo do litoral do Brasil. Nota-se a ausência de registro de sistema frontal no RJ nos primeiros dezesseis dias de setembro.

diário da temperatura empregada pelos modelos em concordância com os dados observados, exceto pelo desempenho do MM5 nas temperaturas máximas no aeródromo SBRJ (Figura 5B) em que apresentou sistematicamente uma tendência em superestimar os dados observados. Considerando a análise das

3.2 Variação Temporal da Temperatura do Ar

A avaliação baseia-se na comparação das séries temporais da variável temperatura do ar a partir dos modelos MM5 e WRF e dos dados observados dessa variável.

Na Figura 5 são apresentados os ciclos diários de temperatura entre os dias 2 e 12, simulados pelos modelos MM5 e WRF. Nota-se que as maiores discrepâncias entre os resultados simulados e registrados ocorrem nos dias em que são observadas as maiores amplitudes térmicas. Esse aspecto é mais evidente no aeródromo SBAF (Figura 5C), em que as temperaturas máximas (mínimas) simuladas pelos modelos são sistematicamente subestimadas (superestimadas) a partir do dia 3 (6). Nos dias em que as amplitudes térmicas observadas são menores nota-se uma tendência para maior aderência entre os dados observados e modelados, conforme visto no aeródromo SBRJ na Figura 5B. A análise para SBJR (Figura 5D) fica um pouco prejudicada pela ausência de observações noturnas, mas é possível verificar que os máximos observados de temperatura também são subestimados pelos modelos. Apesar de algumas discrepâncias na comparação com as observações, é notável a clara assinatura do ciclo

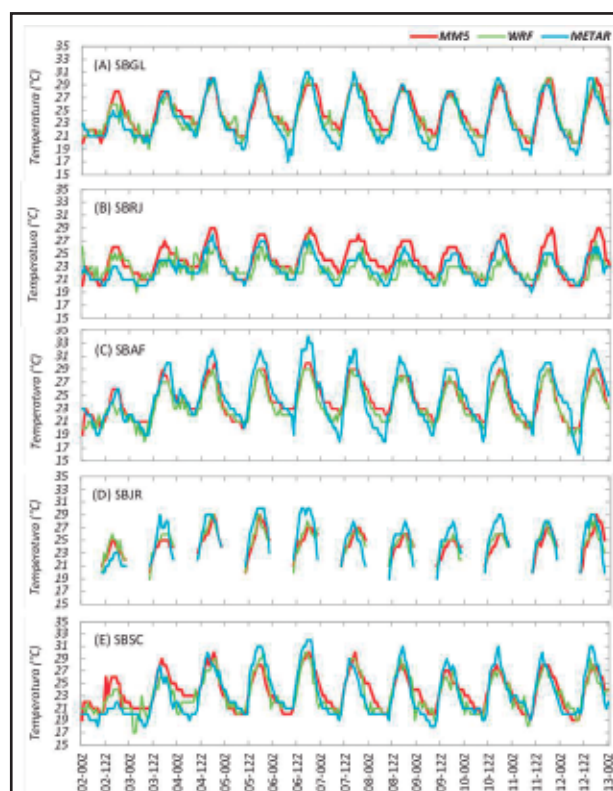


Figura 5 Evolução temporal da temperatura do ar nos aeródromos (A) SBGL, (B) SBRJ, (C) SBAF, (D) SBJR e (E) SBSC, entre os dias 02 a 12 de setembro de 2007. Simulações com MM5 (linha vermelha), simulações com WRF (linha verde) e dados observados (linha azul).

temperaturas máximas, destaca-se que os resultados dos modelos MM5 e WRF apresentam grande concordância entre si, exceto para SBRJ. Na análise dos resultados das temperaturas mínimas o WRF apresenta maior destreza nas simulações.

3.3 Análise Estatística dos Resultados da Modelagem no período 2-12 de setembro de 2007

Na análise destacada na Tabela 2, nota-se que os menores índices de correlação (R) foram obtidos para o SBRJ (0,65) nas simulações com o WRF e para SBJR (0,72) com o MM5. Exceto para SBRJ, o WRF resultou em valores com maior proximidade do valor ótimo (1). Para nove das dez avaliações o índice de correlação apresentou valor superior a 0,7, indicando significativa aderência ao padrão dos dados observados.

O erro quadrático médio normalizado (EQMN) indicou para todos os aeródromos, nos dois modelos, que a discrepância em relação às observações não ultrapassou 10 %. No erro médio absoluto (MAE) o WRF obteve menores erros em SBGL, SBRJ, SBJR, enquanto que em SBAF o MM5 se apresentou melhor do que o WRF. Em SBSC tanto o WRF quanto o MM5 tiveram o menor erro entre todas as estações com valor 1,00.

O índice BIAS, de forma geral, apresentou resultados similares ao do desvio fracional (Fb), subestimando em SBAF e SBJR com os dois modelos e superestimando em SBGL, SBJR e SBSC com o MM5. Para o WRF o erro foi zero em SBSC e em SBRJ subestimou ligeiramente o observado. Em SBGL os índices BIAS e Fb para os dois modelos indicam uma tendência para a superestimativa. Além disso, o desvio fracional (Fb) mostrou desvios pouco significativos entre os valores da modelagem e observacional, indicando que os resultados da modelagem apresentam erros máximos menores que 3%. O MM5 subestimou o observado em 1%

em SBAF e o WRF em 1% no aeródromo SBJR. Nos aeródromos SBGL, SBRJ e SBSC o MM5 apresentou tendência de superestimativa dos valores observados, enquanto o WRF apresentou superestimativa apenas para SBGL e valores ótimos (zero) para SBRJ e SBSC.

O índice Fs mostra que o desvio padrão dos dados observados apresentou valores maiores que o desvio padrão dos dados simulados com os modelos MM5 e WRF para as estações SBGL, SBAF, SBJR e SBSC. Para a estação SBRJ, nota-se que os resultados da modelagem com o MM5 não seguem o padrão descrito para as demais estações, diferentemente dos resultados com o WRF.

Nota-se que apesar dos resultados do aeródromo SBSC ter sido extraído do domínio de resolução 4,1 km, estes apresentaram resultados estatísticos similares nesse estudo e até melhores que os resultados dos outros aeródromos que foram extraídos do domínio de maior da resolução com 1,37 km. Entretanto, ressalta-se a necessidade de estudos mais aprofundados para avaliar a influência da resolução da grade sobre a qualidade dos resultados de simulações com modelos de área limitada.

4 Conclusões

No presente trabalho, os modelos WRF e MM5 reproduziram adequadamente o ciclo diário de temperatura próximo à superfície para todos os dias. Os resultados mostram uma ligeira tendência dos prognósticos em subestimar as máximas temperaturas observadas e superestimarem as mínimas temperaturas observadas. Considerando a análise das temperaturas máximas, destaca-se que os resultados dos modelos MM5 e WRF apresentam grande concordância entre si, exceto para SBRJ. Na análise dos resultados das temperaturas mínimas o WRF apresenta maior destreza nas simulações.

Índices (MM5/WRF) / Aeródromos	SBGL	SBRJ	SBAF	SBJR	SBSC
R	0,91/0,94	0,87/0,65	0,89/0,91	0,72/0,78	0,85/0,89
EQMN	0,01/0,01	0,01/ 0	0,01/0,01	0,01/0,01	0,01/0,01
MAE	1,30 / 1,00	1,35 /1,10	1,64/1,81	1,76 /1,55	1,00 / 1,00
BIAS	0,80/0,50	1,23/ -0,03	-0,54/-1,21	-0,74/-0,55	0,02 / 0
Fb	-0,03/-0,02	-0,05/ 0	0,02/0,05	0,03/0,02	-0,02 / 0
Fs	0,02/0,02	-0,22/0,28	0,34/0,35	0,39/0,37	0,26 /0,25

Tabela 2 Comparação estatística da temperatura do ar a 2 metros entre os dados simulados pelos modelos MM5 (números à esquerda) e WRF (números à direita) e os dados observados a 2 metros nos aeródromos entre os dias 02 e 12 de setembro.

A análise dos índices estatísticos disponibilizados na Tabela 2 revela um desempenho semelhante entre os modelos MM5 e WRF, bem como adequada aderência aos dados observados de temperatura próxima à superfície para as estações SBGL, SBAF, SBJR e SBSC. Deve-se destacar que os maiores desvios entre os resultados dos modelos ocorreram para a estação SBRJ, onde apresentaram tendências inversas no BIAS e significativas discrepâncias para o índice de correlação (R), causado principalmente pelo ineficaz desempenho do WRF.

A análise da variação temporal da temperatura combinada com a avaliação estatística indica que não há significativa discrepância entre os dados simulados e observados, evidenciando a habilidade dos modelos (MM5 e WRF) na avaliação da distribuição temporal e espacial da temperatura do ar próximo à superfície e, conseqüentemente, do fenômeno de ICU na RMRJ.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro) pelo suporte financeiro para a realização do trabalho.

6 Referências

Chemel, C. & Shoki, R.S. 2012. Response of London's Urban Heat Island to a Marine Air Intrusion in an Easterly Wind Regime. *Boundary-Layer Meteorol*, 144: 65-81.

Chen, F. & Dudhia, J. 2001. Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Monthly Weather Review*, 129: 569-585.

Coughlan, M.J. 1983. A comparative climatology of blocking action in the two hemispheres. *Australian Meteorology Magazine*, 31: 3-31.

Dandou, A.; Tombrou, M. & Soulakellis, N. 2009. The Influence of the City of Athens on the Evolution of the Sea-Breeze Front. *Boundary-Layer Meteorol*, 131:35-51.

Dudhia, J. 1989. Numerical Study of Convection Observed during the Winter Monsoon Experiment using a Mesoscale Two-Dimensional Model. *Journal Atmospheric Science*, 46: 3077-3107.

Grell, G. 1993. Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations". *Monthly Weather Review*, 121: 764-787.

Hanna, S.R. 1989. Confidence Limits for Quality Model Evaluations, as Estimated by Bootstrap and Jackknife Resampling Methods. *Atmospheric Environment*, 23: 1385-1395.

Henderson-Sellers, A. & Robison, P. 1999. England *Contemporary Climatology*. 2ª ed., London Prentice

Hall Publisher. 317p

Janjic, Z.I. 1990. The step-mountain coordinate: physical package, *Monthly Weather Review*, 118:1429-1443

Janjic, Z.I. 1996. The surface layer parameterization in the NCEP Eta Model. 11th Conference on NWP, Norfolk, VA, American Meteorological Society, p. 354-355.

Janjic, Z.I. 2002. Nonsingular implementation of the Mellor-Yamada level 2.5 scheme in the NCEP Meso model. NCEP Office. Note, 437, 61 p.

Kusaka, H.; Chen, F.; Tewari, M.; Dudhia, J.; Gill, D.O.; Duda, M.G.; Wang, W. & Miya, Y. 2012. Numerical Simulation of Urban Heat Island Effect by the WRF Model with 4-km Grid Increment: An Inter-Comparison Study between the Urban Canopy Model and Slab Model. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 90B: 33-45.

Lin, C.Y. 2008. Urban heat island effect and its impact on boundary layer development and land-sea circulation over northern Taiwan. *Atmospheric Environment*, 42: 5635- 5649.

Lombardo, M.A. 1985. Brasil: *Ilha de Calor nas Metrôpoles: O Exemplo de São Paulo*. São Paulo, Ed. HUCITEC. 244 p

Nascimento, E.L. 1998. *Brasil. Influência dos bloqueios atmosféricos na propagação de ondas de Rossby em escoamentos de Inverno no Hemisfério Sul*. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade de São Paulo Tese de Mestrado, 119p.

Oke, T.K. 1976. The distinction between canopy and boundary layer urban heat island. *Atmosphere*, 14:268-277.

Oke, T.K. 1981. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observation. *Journal Climatology*, 1: 237-254.

Oke, T.K. 1982. The energetic basic of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108:1-24.

Pimentel, L.C.G.; Marton, E.; da Silva, M.S. & Jourdan, P. 2014. Brasil. Caracterização do Regime de Ventos Próximo à Superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 19 (2): 121-132

Salamanca, F.; Martilli, A. & Yagüe, C. 2012. A numerical study of the Urban Heat Island over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies. *International Journal of Climatology*, 32: 2372-2386.

Stull, R.B. 1993. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 666 p.

Vianna Teza, C.T. & Mello Baptista, G.M. 2005. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER (III): Metrôpoles Brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia, Brasil, INPE, p. 3911-3918.

Zhang, N.; Zhu, L. & Zhu, Y. 2011: Urban heat island and boundary layer structures under hot weather synoptic conditions: A case study of Suzhou City, China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 28: 855-865.

Webgrafia
CPTEC, (<http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/7410>, acesso em fevereiro de 2014).