

SIMULAÇÕES NUMÉRICAS E ENERGÉTICA DO FURACÃO CATARINA COM O MODELO WRF-ARW: UM ESTUDO DE CASO

José Augusto Paixão Veiga¹, Julio Pablo Reyes Fernandez¹

RESUMO Este estudo numérico tem como objetivo principal avaliar o desempenho do modelo WRF-ARW para simular algumas características atmosféricas, como a energia cinética e posição do vórtice, associadas ao desenvolvimento do Furacão Catarina durante a sua fase madura. Para este estudo foram utilizados como condições iniciais e de fronteira as análises do NCEP com resolução horizontal de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude e longitude. Neste trabalho são discutidos basicamente os efeitos da resolução horizontal e os esquemas de convecção utilizados para a simulação. Foram elaborados três experimentos numéricos com o modelo WRF-ARW onde se utilizou duas grades aninhadas, no modo *two-way*, com resolução horizontal de 63 e 21 km. Os esquemas de convecção testados são os de Kain-Fritsch, Betts-Miller-Janjic e Grell-Devenyi-ensemble. A partir das saídas, comparam-se, então, as simulações com as próprias análises do NCEP.

ABSTRACT The main issue of this work is to evaluate the performance of the WRF-ARW in simulate some atmospheric patterns, as kinetic energy and the vorticity position, related to the development of the Hurrican Catarina during its mature phase. In this study analysis from NCEP, with $1^\circ \times 1^\circ$ horizontal resolution in both latitude and longitude, were used as initial and boundary conditions. Basically, in this work the effects of horizontal resolutions and convections schemes are evaluated. It has been designed three experiments with WRF-ARW model with 63 and 21 km horizontal resolution in the *two-way* nesting mode. The convection schemes used in each esperiment were Kain-Fritsch, Betts-Miller-Janjic and Grell-Devenyi-ensemble schemes. Finally, model outputs, for each experiment, and NCEP analysis are compared themselves.

Palavras-Chave: Previsão numérica de tempo, Furacão Catarina, modelo WRF

INTRODUÇÃO

Na ultima semana do mês de março de 2004 o litoral sul do país experimentou um fenômeno da natureza jamais testemunhado antes, o Furacão Catarina. Classificado como furacão do tipo F1 pela NOAA, a formação do Catarina resultou de uma complexa interação entre a região tropical e extra-tropical. Em um estudo desse fenômeno, Pezza e Simmonds (2005) detalharam a evolução do Catarina a partir da sua gênese (20 março de 2004), caracterizado como um ciclone extra-tropical, até a sua evolução como furacão. De acordo com os autores uma combinação entre altos valores de temperatura da superfície do mar (TSM), fraco cisalhamento vertical do vento e um forte bloqueio

¹ CPTEC/INPE – Cachoeira Paulista - SP – e-mail: veiga@cptec.inpe.br

entre a média e alta latitude foi o que levou à formação do Catarina. O modelo ETA operacional do CPTEC, com resolução de 40 km, produziu um centro de baixa pressão da ordem de 1009 mb. A previsão operacional do RAMS, com 20 km de resolução, no MASTER-IAG também subestimou a intensidade do centro (Silva Dias et al., 2004). Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é avaliar o desempenho do modelo de área limitada, WRF-ARW, com diferentes características dinâmicas (ex: resolução horizontal) e física (convecção), na simulação da fase matura do Furacão Catarina. O evento escolhido para este estudo foi o Furacão Catarina que ocorreu entre os dias 23 e 27 de março de 2004 quando começou a ganhar energia durante o seu deslocamento contra o estado básico.

DADOS E METODOLOGIA

O modelo utilizado para fazer as simulações numéricas foi o WRF-ARW. O WRF-ARW é um modelo de previsão numérica de tempo de última geração elaborado para servir a ambas tarefas operacional e para fins de pesquisas no âmbito das ciências atmosféricas. O modelo possui dois núcleos dinâmicos, o ARW (Advanced Research WRF) e o NMM (Non-Hidrostatic Mesoscale Model). O núcleo dinâmico que será utilizado no presente trabalho será o ARW, uma vez que este código apresenta mais opções físicas do que o núcleo NMM. Além das simulações com o modelo WRF-ARW, foram utilizadas as análises do NCEP com resolução horizontal de $1^\circ \times 1^\circ$ a cada 6 horas (http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/download/free_data.html) como condições iniciais e de fronteira. Foi utilizada grade aninhada nas três simulações numéricas no modo *two-way*. No primeiro experimento (EXP1) foram utilizados 40 níveis (*sigma*), com resoluções horizontais, da maior grade para a menor de 63 e 21 km com o esquema de convecção de Kain-Fritsch. No segundo experimento (EXP2) somente o esquema de convecção é diferente do EXP1. No EXP2 utiliza-se o esquema de convecção de Betts-Miller-Janjic. No terceiro experimento (EXP3) o esquema de convecção utilizado é o de Grell-Devenyi. Em todos os três experimentos ambas grades utilizam o mesmo esquema de convecção, por exemplo; no EXP1 utiliza-se Kain-Fritsch na grade de 63 e 21 km. A condição inicial é o dia 26 de março de 2004, às 00 UTC. O modelo é integrado para 72 horas (26/03 às 00 UTC a 29/03 às 00 UTC) com o objetivo de simular algumas das características atmosféricas associadas à fase matura do Catarina (27 de março de 2004). Aplica-se também nas simulações e nos dados do NCEP o conceito de energética de área limitada (EAL). A EAL utiliza o conceito de energia potencial disponível (*EPD*) e energia cinética (*K*) para diagnosticar a energética de distúrbios individuais utilizando para isso relações apropriadas de balanço de energia (Michaelides, 1987). A investigação da energética de sistemas meteorológicos pode ser dividida em dois grupos distintos. O primeiro deles, consiste em estudos que enfocam as mudanças de *K*, a geração de *K* às custas de *EPD* e a dissipação de *K* (Michaelides, 1987). Existe também o enfoque

em um outro sentido que seria a avaliação das mudanças de *EPD* e a geração de *EPD* às custas de *K*. O segundo grupo consiste de estudos que avaliam as associações entre ambas mudanças em *EPD* e *K*. O presente trabalho se encaixa no segundo grupo, uma vez que as avaliações dos termos de energia apresentam um caráter de interdependência. A área onde se utilizou a energética compreende 24-31° S e 38-48° W. A coluna atmosférica integrada é de 975 a 400 hPa, para as simulações e para as análises do NCEP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra o campo da vorticidade superposto ao do vetor velocidade do vento em 850 hPa para a análise do NCEP e para os três experimentos numéricos elaborados para este trabalho. A Figura 1a mostra que no dia 27 de março o furacão Catarina já estava bem desenvolvido, apresentando máximos negativos de vorticidade ao longo do seu centro e periferia. Os resultados com resolução de 63 e 21 km mostram que, para os três experimentos, a fase madura do Catarina foi subestimada. O centro do Catarina, de acordo com as análises do NCEP (Figura 1a), ficou entre 29° S e 44° W, enquanto que as simulações de baixa resolução, em ambos experimentos numéricos, posicionaram o centro do Catarina em torno de 27° S e 43° W. Com o aumento da resolução, apesar do campo de vorticidade ter sido subestimado, o posicionamento do Catarina, nos experimento 2 e 3 (EXP2 e EXP3) foi melhor representado. Neste sentido, talvez o aumento da resolução em experimentos numéricos do Catarina deva melhorar a sua simulação. De modo geral, o esquema de convecção que mais se aproximou, em termos de posição e magnitude do Catarina, foi o esquema de Grell-Devenyi (ensemble), em ambas resoluções de 63 e 21 km.

A Figura 2 mostra o campo da energia cinética em 850 hPa para as análises do NCEP (Figura 2a) e para os experimentos EXP1, EXP2 e EXP3. De acordo com o campo de energia cinética da análise do NCEP houve uma intensa atividade na periferia sul-sudoeste (SSW) do Catarina e fraca atividade no seu centro. Este padrão de máximo de energia cinética na periferia SSW do Catarina foi bem simulada pelo nos três experimentos. Contudo, maior destaque novamente em relação a posicionamento e intensidade do Catarina, em termos de sua energia cinética, se dá ao experimento EXP3 (Figura 2 d e g), em ambas resoluções. Apesar do EXP3 apresentar melhor performance do que os demais experimentos, ainda sim os resultados não são tão satisfatórios. Os resultados do experimento EXP3 mostram que o posicionamento do núcleo (fraca atividade de energia cinética) se dá a uma posição mais ao norte do observado (Figura 2a). O experimento com menor performance foi o EXP2. Neste experimento o padrão espacial do campo da energia cinética não foi bem simulado. O fato do modelo não simular bem o caso de 27 de março deve estar ligado à energética interna do próprio modelo, isto é, de modo geral a energia cinética de sistemas meteorológicos está ligada diretamente ao aumento da energia potencial disponível para a perturbação ou pela extração de energia a partir do estado básico. Neste contexto, uma abordagem

da energética pode trazer a luz importantes aspectos relativo as diferenças entre “observação” e simulação.

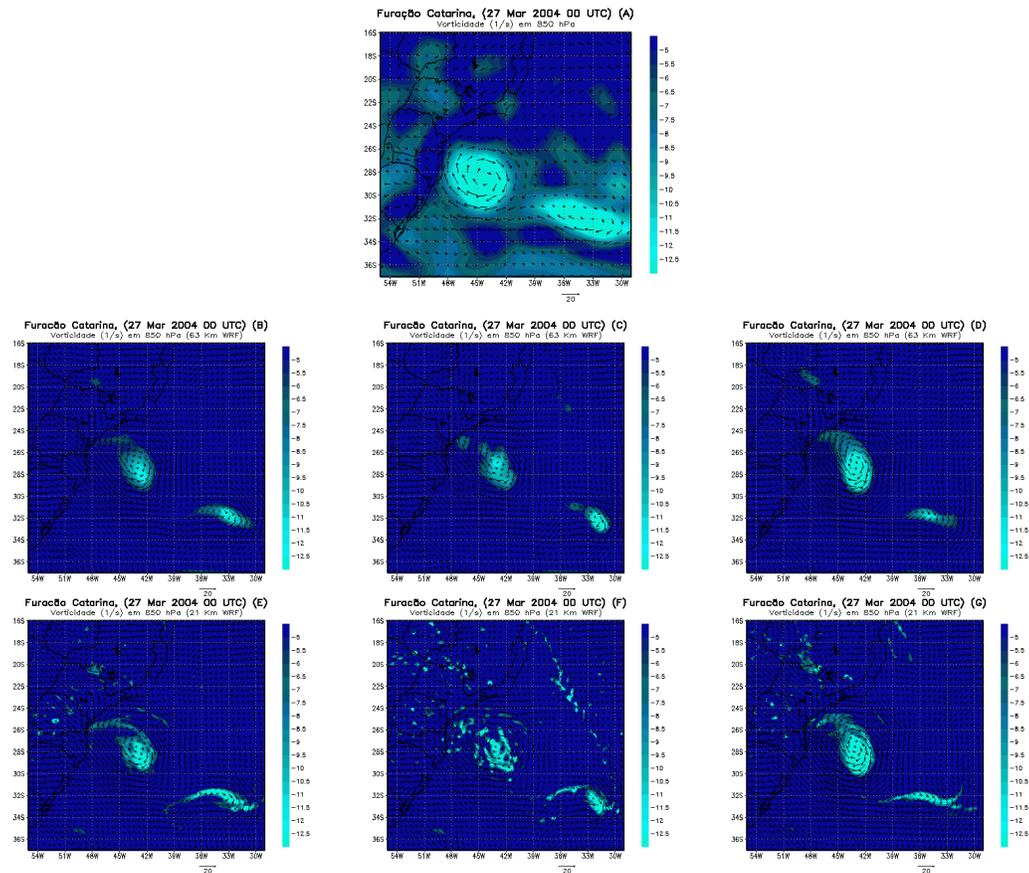


Figura 1- Vorticidade (1/s) e vetor velocidade do vento (m/s) em 850 hPa para o dia 27 de março as 00 UTC para a análise do NCEP (a), EXP1 (b,e), EXP2 (c,f), e EXP3 (d,g).

Avaliando-se a energética de área limitada (EAL) (ver Figura 3) para as análises e para as médias das simulações numéricas, nota-se que o padrão da energia cinética da perturbação (K_E) e da energia cinética zonal (K_Z) nas simulações apresenta magnitudes e variação temporal semelhantes, mostrando que K_Z e K_E independem do aumento da resolução do modelo. Todavia, os termos K_E e K_Z calculados a partir das análises do NCEP, mostram um padrão temporal bem diferente das simulações. Nas simulações (Figura 3c e 3e) K_E excede K_Z a partir do dia 26 de março às 12 hs UTC, padrão que é inverso ao observado a partir das análises do NCEP. Além do mais, o termo de conversão baroclínica (C_e), em ambas simulações, apresenta maiores valores do que nas análises do NCEP (Figuras 3b, 3d e 3f) a partir da 12 hs UTC do dia 26. As diferenças entre os termos de energia e troca, em ambos experimentos e na análise, podem elucidar o fato pelo qual as simulações não foram bem sucedidas. Isto por que quanto menor for a diferença entre a energética simulada e observada melhor será o desempenho do modelo para casos reais. Por motivo de brevidade não pôde-se fazer uma avaliação mais abrangente da energética de ambas saídas do modelo e

observação a partir das análises do NCEP, todavia esta abordagem dinâmica será objetivo de futuros trabalhos na linha de energética do Furacão Catarina. Além do mais, a aplicação de testes estatísticos, tais como o erro médio quadrático, o viés e o threat-score são necessários para se fazer uma abordagem melhor das falhas e acertos do modelo WRF-ARW em simular o Furacão Catarina. A abordagem conjunta de ferramentas estatísticas e diagnosticas, como a EAL ajudam a elucidar melhor os aspectos positivos e as deficiências do modelo WRF-ARW em simular o fenômeno Catarina.

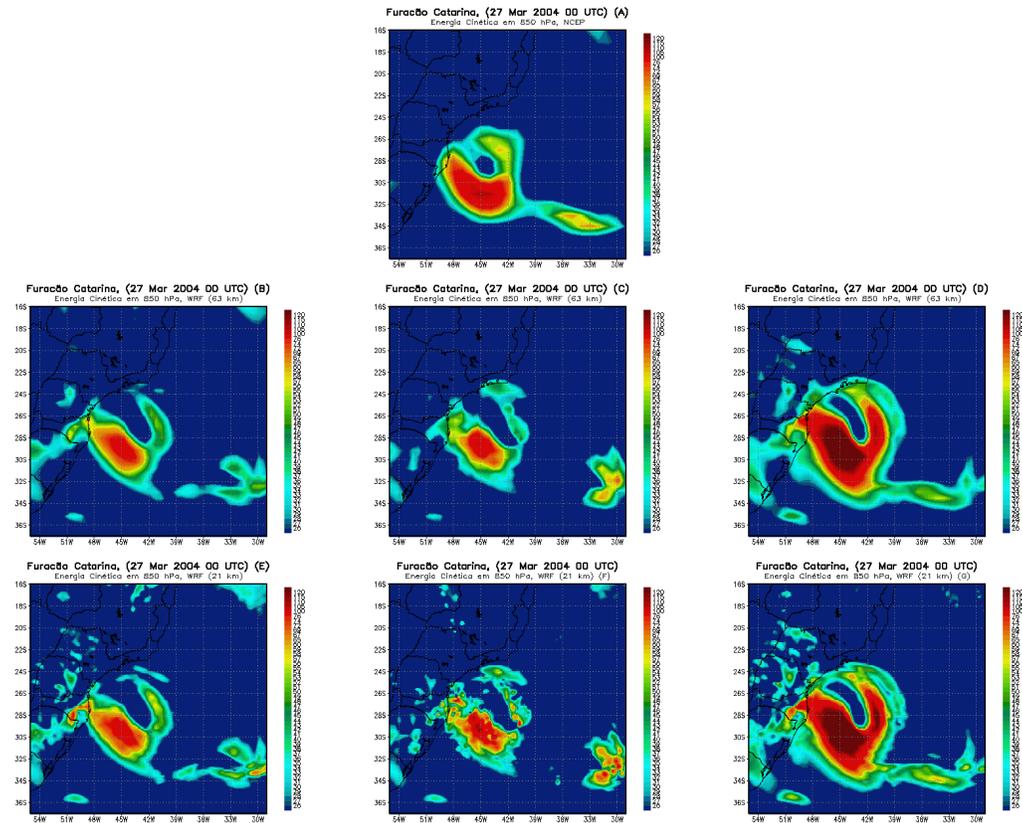


Figura 2- Energia cinética em 850 hPa para o dia 27 de março as 00 UTC para a análise do NCEP (a), EXP1 (b,e), EXP2 (c,f), e EXP3 (d,g). As unidades de energia cinética estão em m²/s².

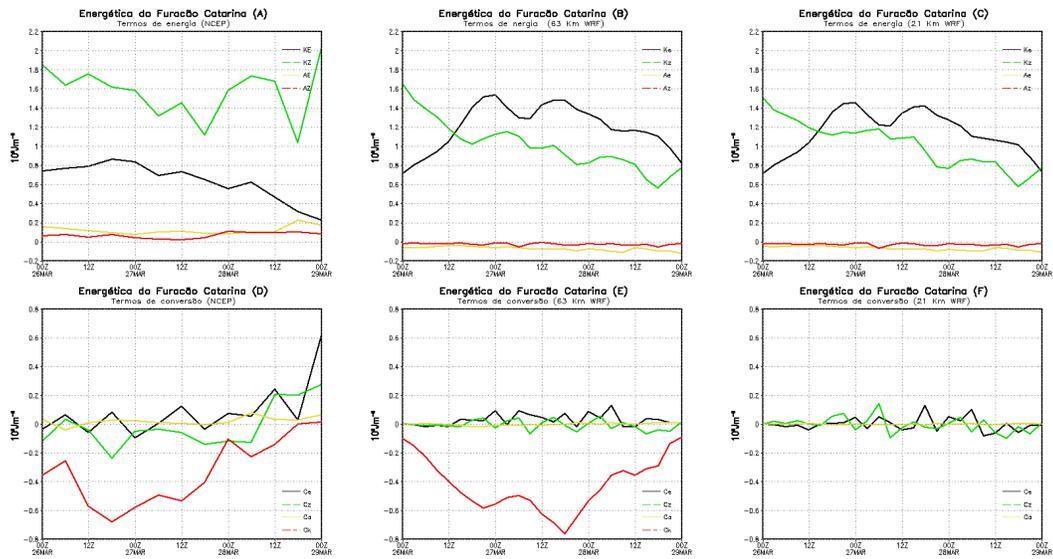


Figura 3- Evolução temporal da energética de área limitada (*EAL*) para o domínio 24-31° Sul e 38-48° Oeste. Figuras a e b, representam os termos de energia e conversão (troca), respectivamente. As figuras c e d, representam os termos de energia e conversão (troca) para as simulações de baixa resolução (63 km), as Figuras e e f seguem a linha das Figuras c e d, contudo para a simulação com 21 km. As unidades dos termos de energia estão 10^5 J m^{-2} , enquanto que os termos de troca estão em unidades de W m^{-2} .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Michaelides, S. C., 1987: Limited area energetics of Genoa Cyclogenesis. **Mon. Wea. Rev.**, 1987,115, 13-26.

Pezza, A. B. E Simmonds I., 2005: The first south Atlantic hurricane. Unprecedented blocking, low shear and climate change. **Geo. Res. Let.**, L15712, 1-5.

Silva Dias, P. L., M. A. F. Silva Dias, M. Seluchi e Diniz, F. A., 2004: O ciclone Catarina: Análise preliminar da estrutura, dinâmica e previsibilidade. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE, 29 agosto a 3 de setembro de 2004.