

# ANÁLISE DA CAPACIDADE DO MODELO GLOBAL OPERACIONAL DO CPTEC/COLA EM SIMULAR A EVOLUÇÃO DE CICLOGÊNESE DE MESO-ESCALA USANDO ALTA RESOLUÇÃO: ESTUDO DE CASO

José Paulo Bonatti  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE  
Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC  
Rodovia Pres. Dutra, km 40 SPRJ, Cachoeira Paulista, SP, 12.630-000  
e-mail : [bonatti@cptec.inpe.br](mailto:bonatti@cptec.inpe.br)

It is analysed the performance of a high resolution version of the operational CPTEC/COLA (T170L28) global model in simulating the mesoscale cyclogenese over the Southeast Brazil and adjoining sea. The model is run with two kinds of deep convection: Kuo, modified by Anthes, and Relaxed Arakawa-Schubert. It is selected a case study during the period of 13 to 15 April 2000, in which the mesoscale cyclone becomes very strong over the warmer sea-water at the coast of Rio Grande do Sul state. The Kuo scheme seems to be the better to simulate the trajectory of the cyclone, the diabatic heating and the surface winds in high resolution than in the lower (T062L28), while the relaxed Arakawa-Schubert scheme although give good results for the magnitude of the surface winds, the trajectory and the diabatic heating is not very well simulated even for high resolution.

## INTRODUÇÃO

Um fenômeno que afeta a região sul-sudeste do Brasil é a ciclogênese de meso-escala, muitas vezes ocorrendo a intensificação desses ciclones extratropicais ao adentrarem a região marinha com águas relativamente quentes. Essa intensificação pode ser rápida gerando ventos muito fortes em baixos níveis que causam a geração de ondas marinhas de grande amplitude podendo causar, entre outros problemas, destruição no litoral. Um exemplo desses casos é um ciclone que ocorreu entre os dias 13 e 15 de abril de 2000 nas águas próximas ao litoral do Rio Grande do Sul. O objetivo desse trabalho é analisar a capacidade do modelo global operacional do CPTEC em prever esse tipo de fenômeno através da análise desse caso. Deve-se salientar que a ciclogênese de meso-escala na costa leste resulta da interação da instabilidade baroclínica com processos diabáticos como a liberação de calor latente, que reduz a escala do sistema através de um efeito equivalente à redução da estabilidade estática efetiva; também são importantes os processos diabáticos como os fluxos de calor sensível e latente da superfície do mar para a atmosfera quando uma massa de ar relativamente fria proveniente do continente passa sobre regiões oceânicas relativamente quentes.

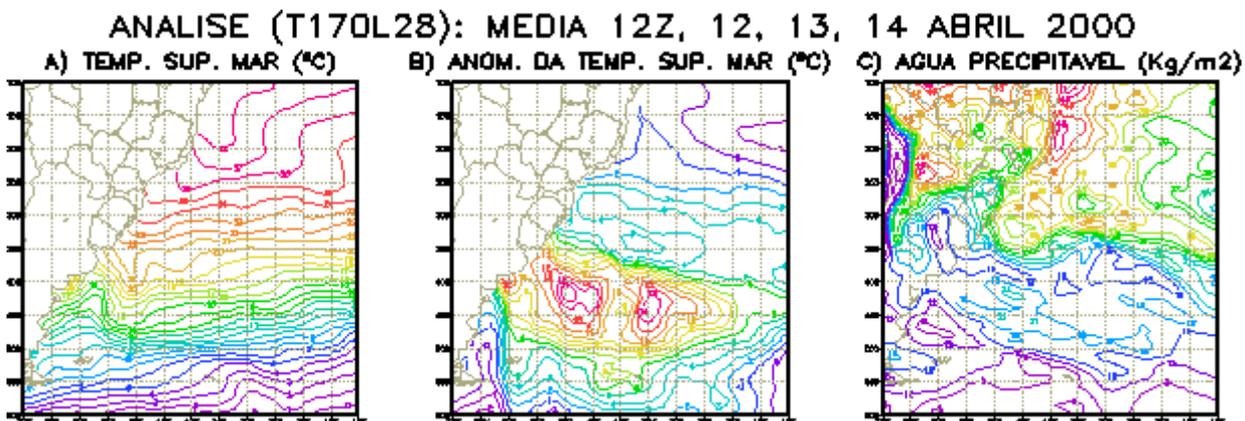
## MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foi utilizada a versão operacional do modelo global do CPTEC/COLA em baixa (T062L28) e alta resolução horizontal (T170L28), onde T170 (T062) representa o truncamento triangular no número de onda zonal 170 (62) e L28 indica que são utilizadas 28 camadas verticais em coordenadas sigma, correspondendo a uma grade na horizontal de  $0,703125^\circ$  por  $0,703125^\circ$  ( $1,875^\circ$  por  $1,875^\circ$ ) ou 80 por 80 km (200 por 200 km). Uma descrição da dinâmica e da física do modelo pode ser encontrada em Kinter et al (1997). Duas opções foram consideradas para a convecção profunda: a primeira usando a parametrização de Kuo (1965), modificada por Anthes (1977), e a segunda usando a parametrização de Arakawa-Schubert Relaxada, como descrito por Moorthi e Suarez (1992). Para esse experimento são utilizadas as análises espectrais T170L28 (T062L28) do NCEP (National Centers for Environmental Predictions – USA) de 12 em 12 horas (6 em 6 horas) para o período de 12,12 UTC, a 16 abril, 00 UTC. O modelo foi rodado com condições iniciais em 12 de abril, 12 UTC, por 3,5 dias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do pós-processamento (recomposição em pontos de grade, interpolação de níveis sigma para níveis de pressão e cálculo de variáveis derivadas) das análises do NCEP e da integração do modelo do CPTEC/COLA para a alta resolução T170L28 são apresentados a seguir. Os resultados da baixa resolução (T062L28) são encontrados em Bonatti (2000).

A figura 1 mostra a temperatura da superfície do mar, sua anomalia e a água precipitável observadas médias para o período de 12 a 14 de abril de 2000, 12 UTC. Nota-se que a corrente do Brasil traz águas quentes da costa brasileira para a costa argentina (fig. 1A), proporcionando anomalia positiva de até 12 K na região de confluência com a corrente das Malvinas (fig. 2B). Há muita água precipitável disponível em toda a costa brasileira (fig. 1.C), porém sobre o oceano mostra uma configuração mais concentrada em relação à análise de baixa resolução (fig. 1.C de Bonatti, 2000). A ocorrência dessas águas quentes e de água disponível na atmosfera favorecem a amplificação/geração de sistemas de mesoescala nessa região.



**Figura 1 – Temperatura da superfície do mar, sua anomalia e água precipitável.**

Na figura 2 são apresentados os campos de pressão à superfície do mar e de espessura da camada de 1000 a 500 hPa correspondentes à análise pós-processada. Nota-se a formação de uma baixa em pressão na costa dos estados do Paraná e São Paulo no dia 13 de abril à 00 UTC, que já no dia 13, 12 UTC possui uma isóbara fechada. O sistema se intensifica, até o dia 14, 00 UTC, começando, então a mergulhar dentro do escoamento de grande escala, porém no dia 16, 00 UTC ainda persiste um centro fechado, em contraste com a análise de baixa resolução que não mais possui um centro fechado definido (fig. 2.M de Bonatti, 2000). À medida que o ciclone se desenvolve, ele propaga-se no sentido NO-SE, e ganha características de frente fria. Durante a evolução do ciclone em superfície, verifica-se a formação de ondas curtas no campo de espessura, com amplitudes menores que a baixa resolução (fig. 2 de Bonatti, 2000), que se propagam para leste e mergulhando no fluxo de grande escala no dia 16, 00 UTC.

A figura 3 apresenta os mesmos campos que a figura 2, porém para o caso de previsão do modelo utilizando a parametrização do tipo Kuo. Na figura 3A é mostrada a análise, já que as condições iniciais são para o dia 12 de abril, 12 UTC. Em geral, os campos de pressão à superfície são semelhantes ao analisado, porém o ciclone apresenta intensidade menor, embora pode-se notar que a intensidade é maior que baixa resolução (fig. 3 de Bonatti, 2000). A posição do centro também é razoavelmente bem prevista. O campo de espessura tem boa correspondência com o analisado, porém as ondas curtas possuem amplitude maior na previsão, porém tendo menores amplitudes que a baixa resolução mostrando maior concordância com as observações, e, a partir do dia 15, 00 UTC, as ondas curtas previstas também estão adiantadas em fase.

A figura 4 mostra os mesmos campos que a figura 3, mas com o modelo usando a parametrização do tipo Arakawa-Schubert. As características do campo de pressão à superfície são semelhantes ao do caso com parametrização tipo Kuo, com intensidades menores que o campo analisado, porém a trajetória do centro de baixa pressão é mais norte e a sua propagação mais lenta, ressaltando-se a sua posição, bem clara, a NO do analisado no dia 15 às 00 UTC. Em comparação com a baixa resolução (fig. 4 de Bonatti, 2000) a intensidade do centro de baixa é maior, porém persiste o erro da trajetória. As ondas curtas no campo de espessura, apesar de não serem bem definidas, apresentam melhor definição que na baixa resolução; a amplitude da onda final de maior escala (fig. 4.F) é menor, mostrando um cavado menos intenso.

ANALISE (T170L28)  
 PRESSAO A SUPERFICIE (hPa, COLORIDA)  
 ESPESSURA 1000-500 hPa (m, TRACEJADA)

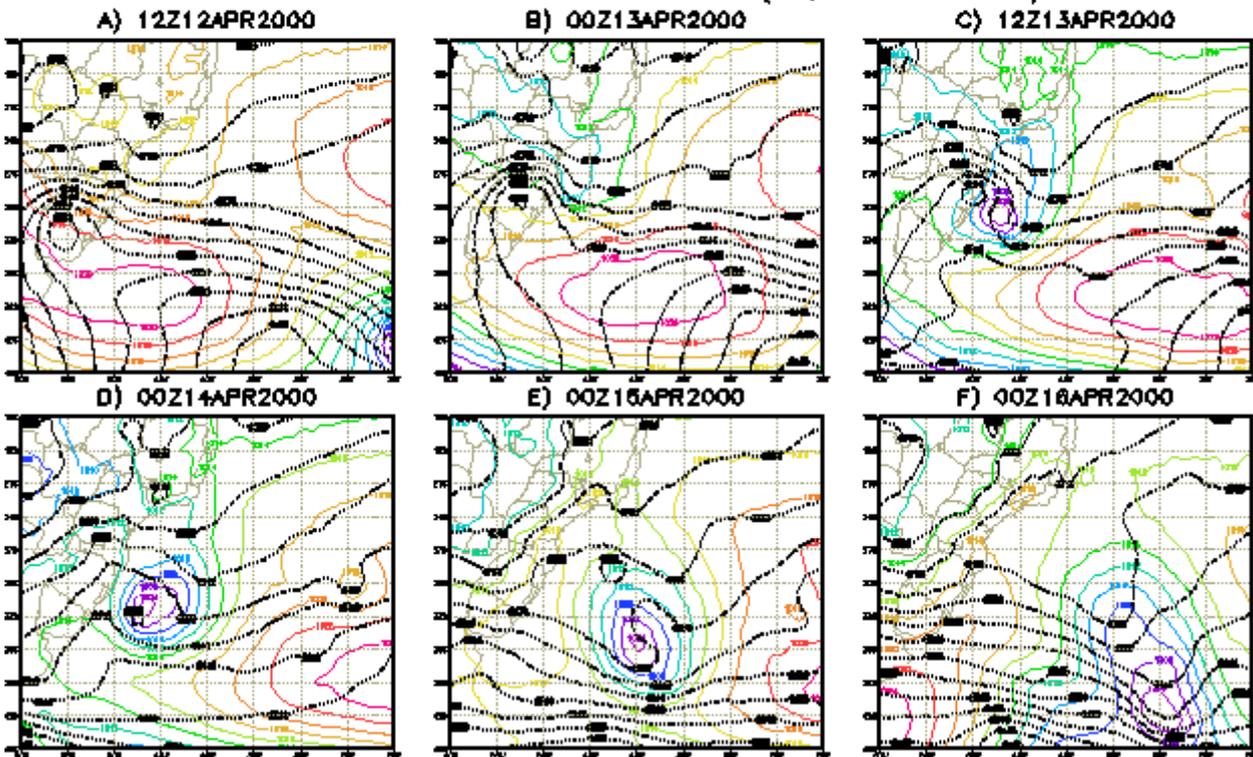


Figura 2 – Pressão à superfície e Espessura de 1000 a 500 hPa observadas.

As figuras de 5 a 7 apresentam os campos de vento e vorticidade à superfície, para as análises e previsões com convecção tipos Kuo e Arakawa-Schubert, respectivamente, para 3 horários onde a intensidade do sistema é maior. Nota-se a grande magnitude dos ventos no entorno do ciclone e no litoral do Rio Grande do Sul (figura 5), com a vorticidade apresentando um núcleo bem intenso e concentrado. As características do vento são muito semelhantes à baixa resolução (fig. 5 de Bonatti, 2000). A previsão utilizando convecção tipo Kuo (figura 6), mostra que o modelo consegue captar bem tanto o lado oriental como ocidental do ciclone, em contraste com o caso de baixa resolução (fig. 6 de Bonatti, 2000) que mostra no lado ocidental ventos previstos com intensidade menor que o observado; além disso, a distribuição de vorticidade, que em baixa resolução era menos concentrada e menos intensa, apresenta características muito mais próximas ao observado. Ressalta-se que a posição e a intensidade do centro do sistema são melhores previstas que na baixa resolução. Já o caso usando convecção tipo Arakawa-Schubert, semelhantemente à baixa resolução (fig. 7 de Bonatti, 2000) tem uma distribuição espacial mais concentrada, com ventos mais intensos, porém com propagação mais lenta e mais ao norte, ocasionando uma defasagem para NO do sistema. Esses resultados têm impacto muito grande, se se pretende utilizar os ventos de superfície previstos por esse modelo, para a previsão de ondas marinhas. O caso Kuo, acarretaria em previsão de ondas marinhas mais próximas ao observado dado que representa bem a intensidade e localização do centro do ciclone, e o caso Arakawa-Schubert implicaria em previsões de ondas marinhas em localidades diferentes das observadas. O aumento de resolução para o caso com parametrização de convecção profunda do tipo Kuo mostrou-se ser um fator muito importante na definição dos ventos de superfície para a previsão desses sistemas de mesoescala.

PREVISAO (T170L28 – CONVECCAO TIPO KUO)  
 PRESSAO A SUPERFICIE (hPa, COLORIDA)  
 ESPESSURA 1000–500 hPa (m, TRACEJADA)

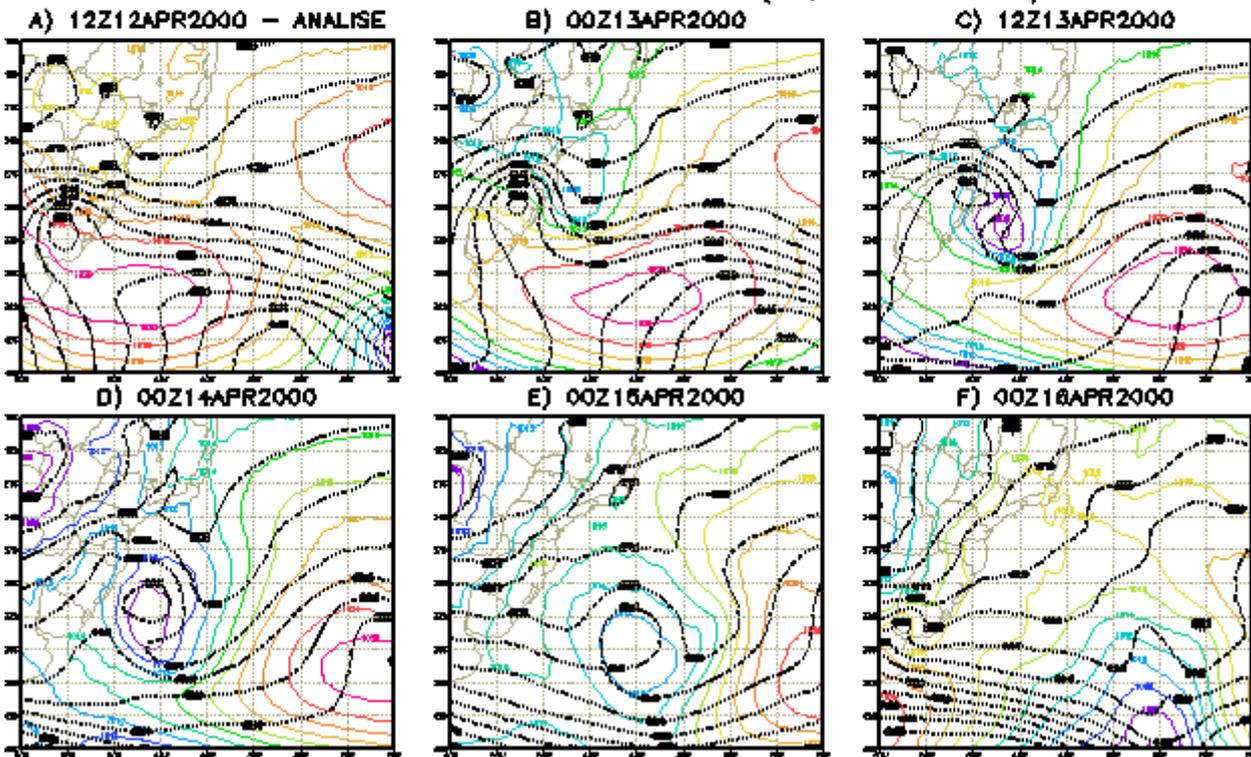


Figura 3 – Pressão à superfície e Espessura de 1000 a 500 hPa simulados pelo modelo do CPTEC T170L28 usando parametrização de convecção profunda tipo Kuo.

Já que não se dispõe de dados de precipitação sobre o oceano, nas figuras 8, 9 e 10 são apresentadas, respectivamente, o aquecimento diabático para o caso das análises, da previsão utilizando esquema de convecção profunda tipo Kuo e tipo Arakawa-Schubert. O aquecimento diabático foi obtido como resíduo da equação da energia termodinâmica, seguindo o procedimento descrito em Borges Mendonça (2000). As figuras A, B e C apresentam o aquecimento diabático para baixos níveis, enquanto que D, E e F dá o aquecimento para altos níveis. Nota-se que o aquecimento diabático derivado das análises (figura 8) é bem profundo na região do sistema de mesoescala (figuras 5), apresentando uma configuração bem mais definida e concentrada que a baixa resolução (fig. 8 de Bonatti, 2000), chegando a mais de 25 K/dia. O aquecimento diabático derivado das previsões com esquema Kuo (figura 9) tem configuração semelhante à da analisada com valores próximos ao derivado das análises, porém com áreas mais amplas de aquecimento, melhorando a simulação em relação à baixa resolução (fig. 9 de Bonatti, 2000) que apresenta valores mais intensos que o observado. No caso de previsão com esquema Arakawa-Schubert (figura 10), os campos são melhor definidos que no caso de baixa resolução (fig. 10 de Bonatti, 2000), apresentando valores até próximos ao observado, porém ainda não tão bem definidos em todos os horários como no caso com Kuo. Apesar de a escala do modelo ser de 80 por 80 km, essa característica do aquecimento diabático inferido das previsões não implica necessariamente que o esquema Kuo preveja mais chuva e o esquema Arakawa-Schubert preveja menos chuva que o observado.

PREVISAO (T170L18 – CONVECCAO TIPO ARAKAWA-SCHUBERT)  
 PRESSAO A SUPERFICIE (hPa, COLORIDA)  
 ESPESSURA 1000-500 hPa (m, TRACEJADA)

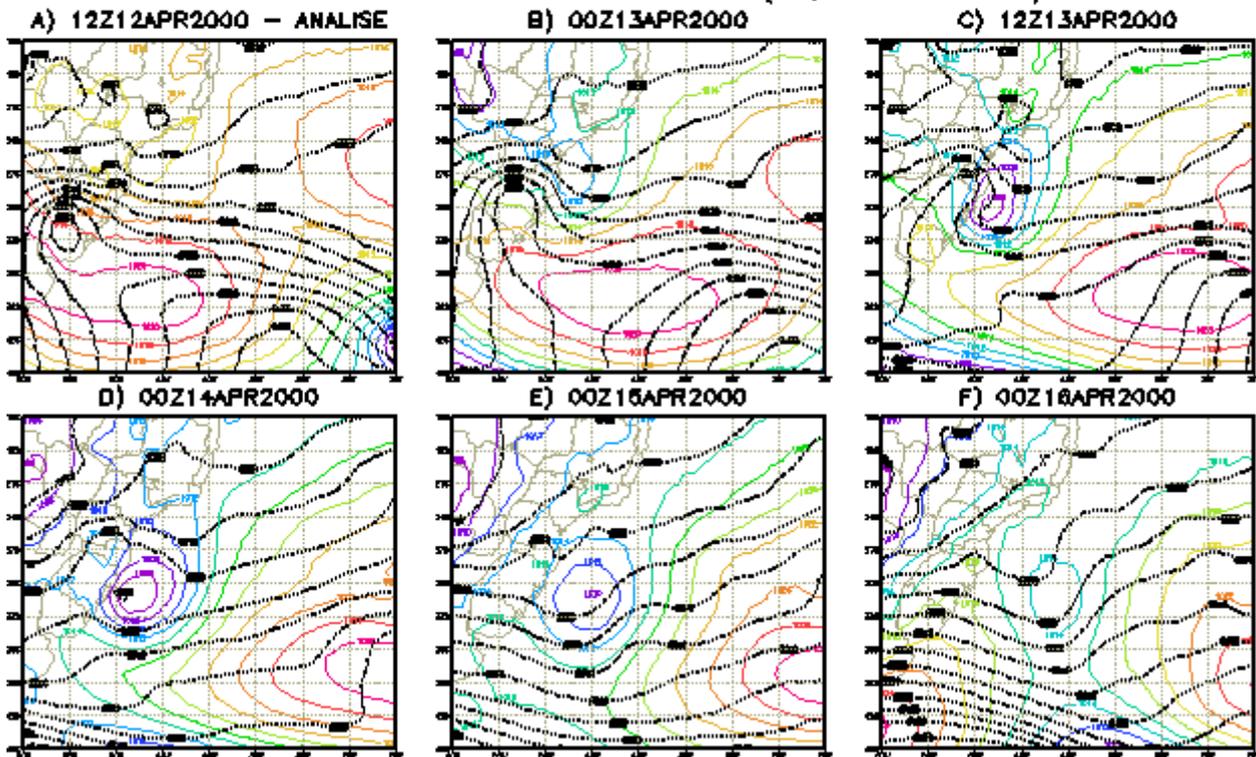


Figura 4 – Pressão à superfície e Espessura de 1000 a 500 hPa simulados pelo modelo do CPTEC T170L28 usando parametrização de convecção profunda do tipo Arakawa-Schubert.

ANALISE (T170L28)  
 VENTOS (m/s) E VORTICIDADE ( $10^{-6}/s$ ) A SUPERFICIE

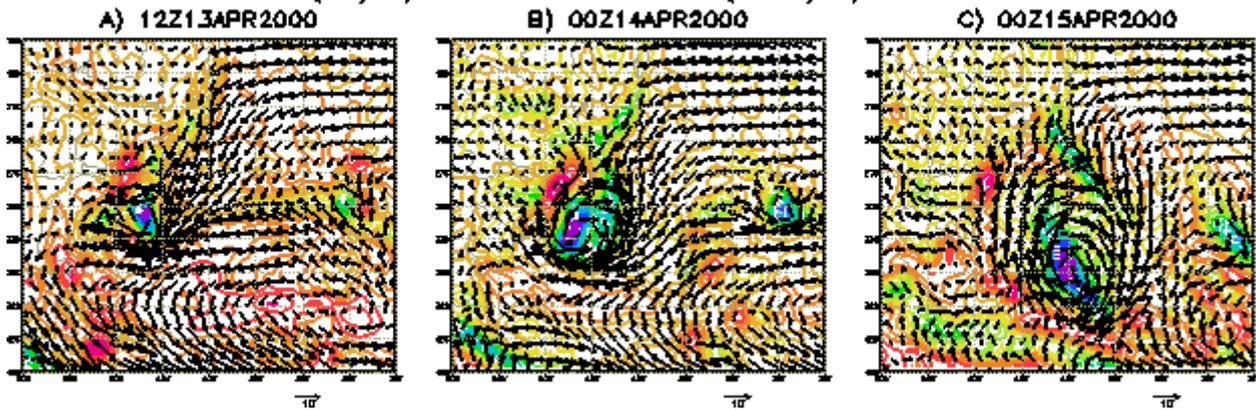


Figura 5 – Ventos e vorticidade à superfície observados.

PREVISAO (T170L28 – CONVECCAO TIPO KUO)  
VENTOS (m/s) E VORTICIDADE ( $10^{-6}/s$ ) A SUPERFICIE

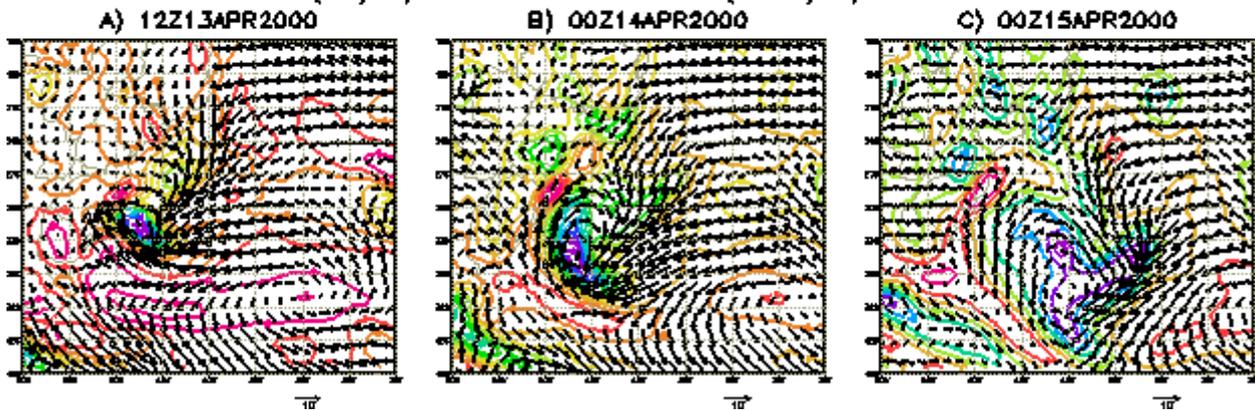


Figura 6 – Ventos e vorticidade à superfície simulados pelo modelo do CPTEC T170L28 usando parametrização de convecção profunda do tipo Kuo.

PREVISAO (T170L18 – CONVECCAO TIPO ARAKAWA-SCHUBERT)  
VENTOS (m/s) E VORTICIDADE ( $10^{-6}/s$ ) A SUPERFICIE

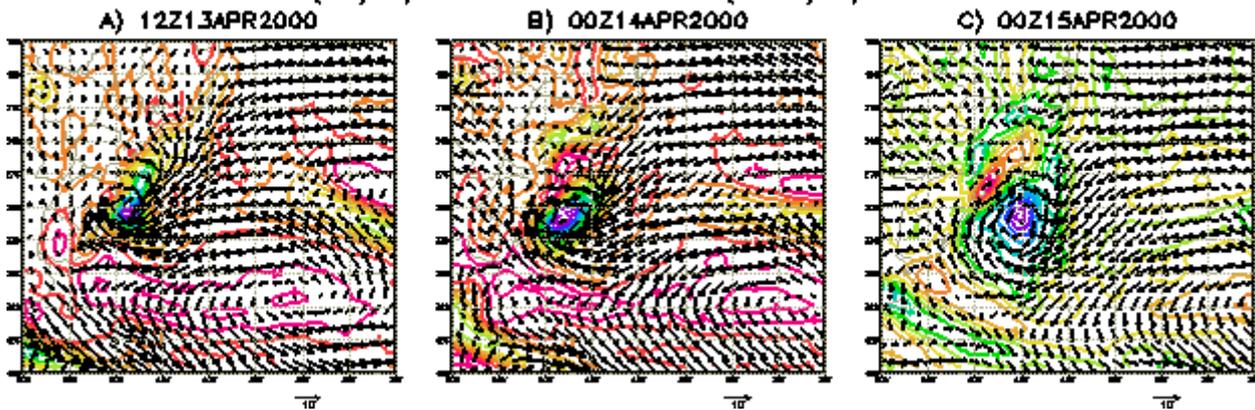


Figura 7 – Ventos e vorticidade à superfície simulados pelo modelo do CPTEC T170L28 usando parametrização de convecção profunda do tipo Arakawa-Schubert.

Na figura 11 são apresentados os fluxos de calor sensível e de calor latente da superfície para a atmosfera para baixa (caso Kuo) e alta resolução (casos Kuo e Arakawa-Schubert) simulados pelo modelo global do CPTEC, médios para o período de 13 a 15 de abril de 2000, 00 UTC. Não são notadas diferenças significativas no fluxo de calor sensível para os 3 casos (figs. 7 A, B e C), porém verifica-se uma significativa diferença quanto ao fluxo de calor latente (figs. 7 D, E e F): no caso com convecção tipo Kuo e alta resolução há uma concentração positiva na região de geração e desenvolvimento do ciclone de meso-escala (região costeira do Rio Grande do Sul principalmente); essa característica se reflete no fluxo total de calor (figs. G, H e I). Como nessa região as condições atmosféricas são favoráveis ao desenvolvimento do ciclone, o caso com convecção tipo Kuo em alta resolução acaba sendo o que melhor simula as suas características.

**ANALISE (T170L28)**  
**AQUECIMENTO DIABATICO (K/dia)**  
**MEDIAS DE 1000 A 500 hPa (A-C) E DE 400 a 150 hPa (D-F)**

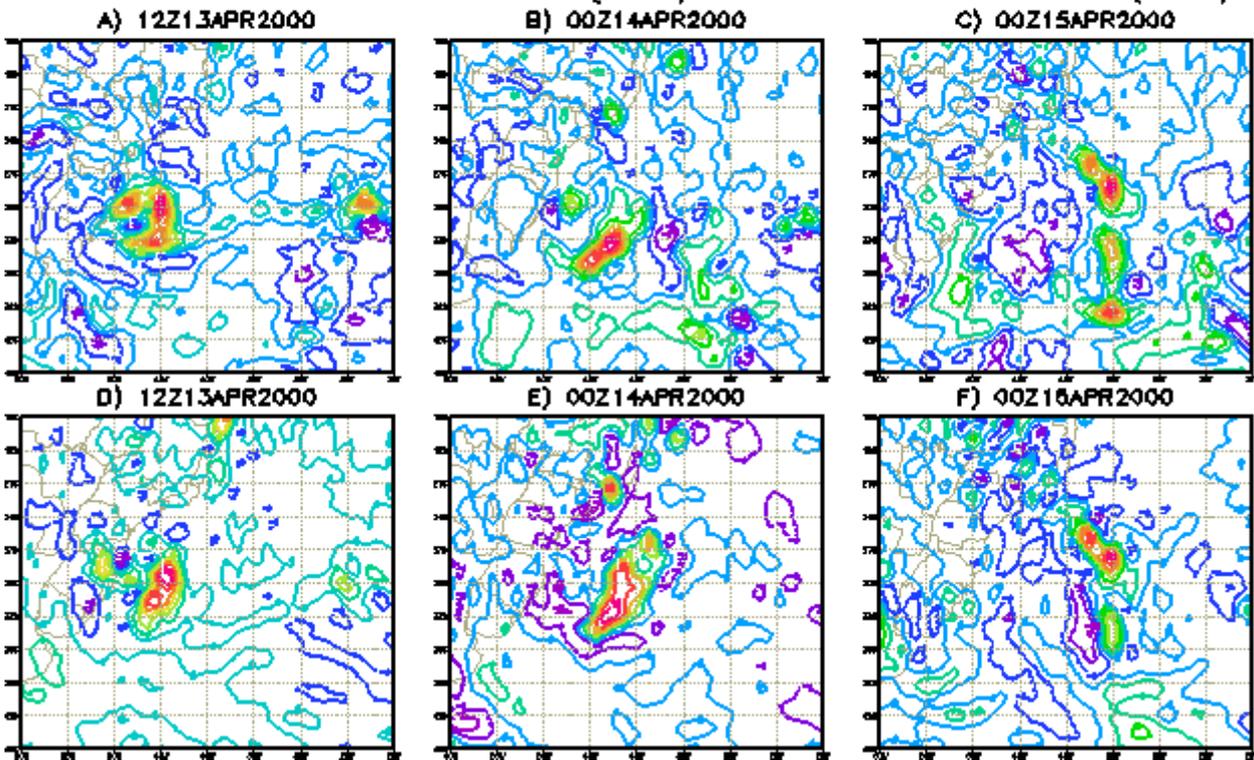


Figura 8 – Aquecimento diabático médio para níveis baixos e altos, obtidos a partir das análises.

**PREVISAO (T170L28 – CONVECCAO TIPO KUO)**  
**AQUECIMENTO DIABATICO (K/dia)**  
**MEDIAS DE 1000 A 500 hPa (A-C) E DE 400 a 150 hPa (D-F)**

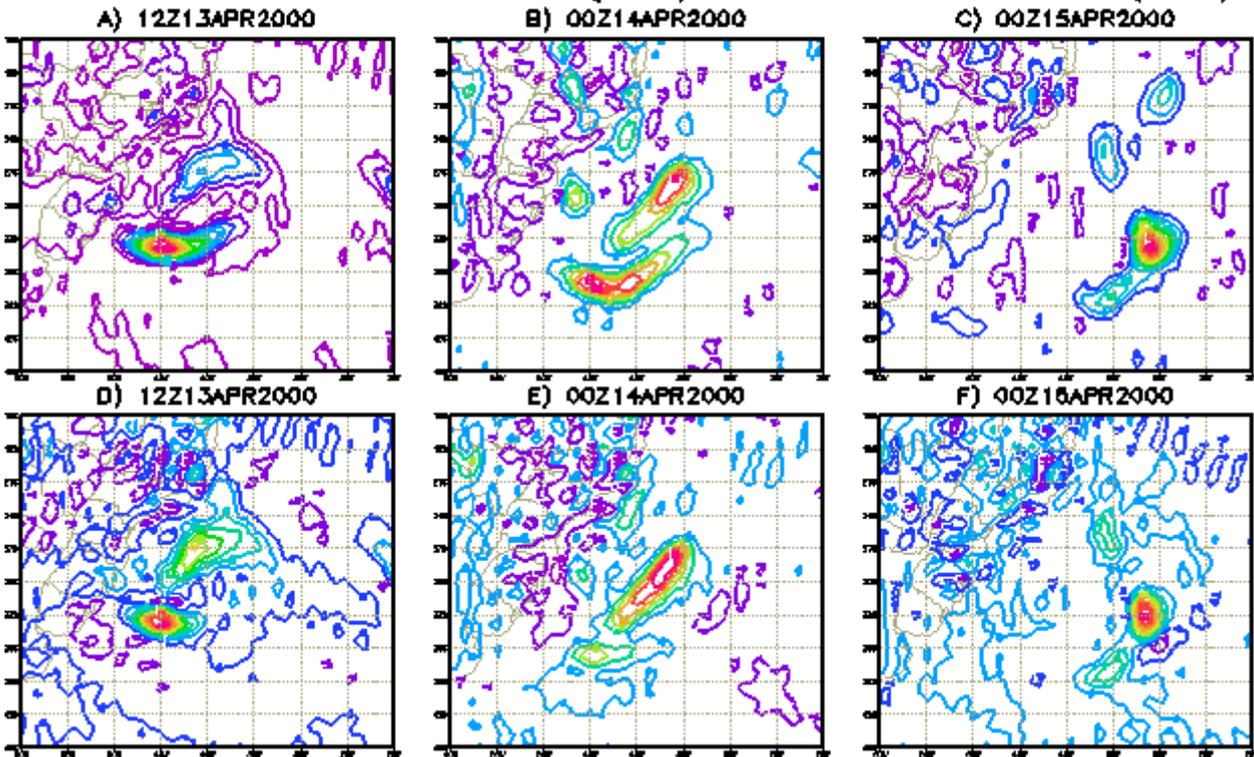


Figura 9 – O mesmo que a fig.8 porém para previsão do modelo usando convecção do tipo Kuo.

PREVISAO (T170L18 – CONVECCAO TIPO ARAKAWA-SCHUBERT)  
AQUECIMENTO DIABATICO (K/dia)  
MEDIAS DE 1000 A 500 hPa (A-C) E DE 400 a 150 hPa (D-F)

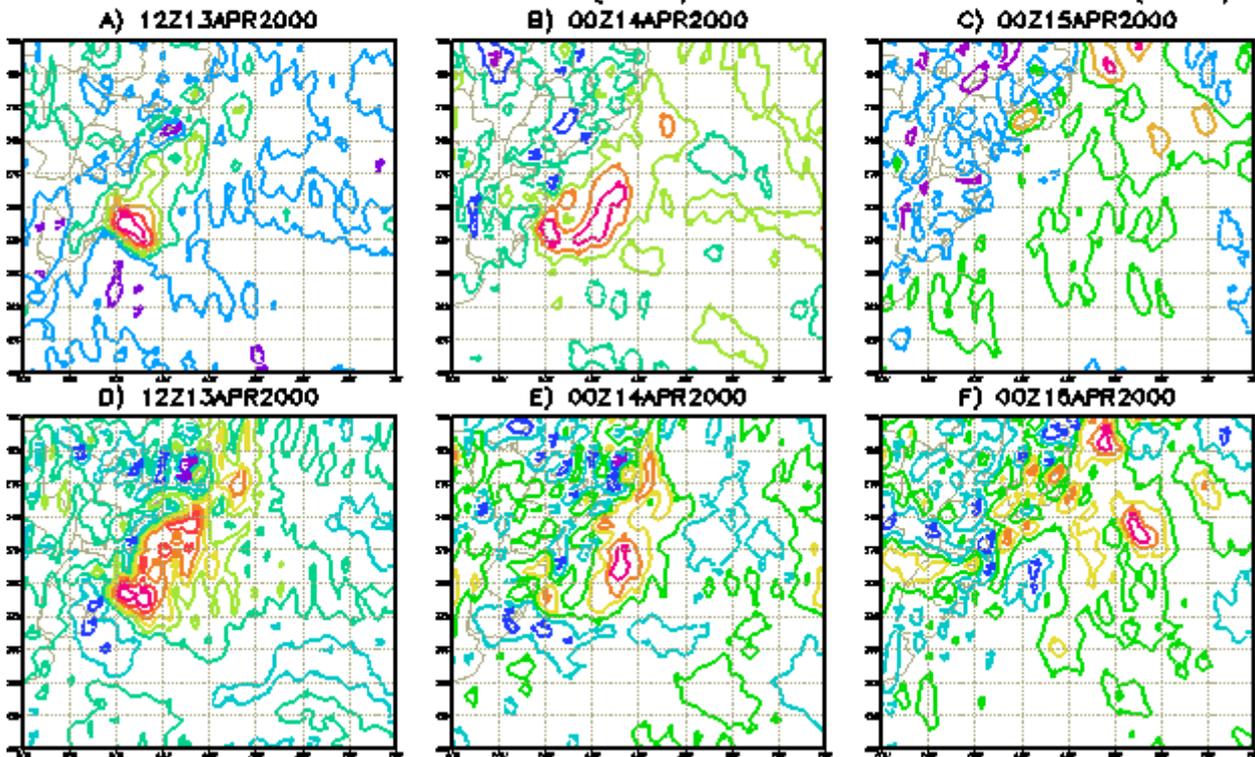


Figura 10 – O mesmo que a fig. 9, porém com convecção do tipo Arakawa-Schubert.

## CONCLUSÕES

Foi avaliada a capacidade do modelo operacional global do CPTEC/COLA T170L28 em prever a evolução de ciclogênese de mesoescala, através de estudo de caso ocorrido entre os dias 12 e 16 de abril de 2000 sobre os oceanos adjacentes ao sul-sudeste do Brasil e extremo norte da Argentina. Notou-se a presença de águas anormalmente quentes nessa região e água precipitável disponível na atmosfera, favorecendo a intensificação de sistemas de mesoescala nessa região. O desenvolvimento e evolução do sistema observado foi bem previsto pelo modelo.

O caso em alta resolução utilizando esquema de convecção profunda tipo Kuo, preve melhor a trajetória, posição do centro do ciclone e os ventos simulados à superfície correspondem bem ao analisado. O caso com convecção do tipo Arakawa-Schubert, preve bem também a intensidade dos ventos em superfície, porém a posição dos centros de baixa pressão ficam mais à noroeste, dado que sua propagação é mais lenta que o analisado.

O aquecimento diabático é melhor representado em configuração, em alta resolução, pelo esquema Kuo que no caso Arakawa-Schubert, e em ambos os casos os valores se aproximam mais do derivado das análises que no caso de baixa resolução.

O fluxo de calor latente simulado pelo modelo global de alta resolução usando convecção tipo Kuo mostrou-se ser o mais próximo ao esperado para o desenvolvimento de ciclones de mesoescala sobre o oceano.

CALOR SENSIVEL (A-C), CALOR LATENTE (D-F) E SOMA (G-I) (W/M2)  
MEDIA 00Z, 13, 14, 15 ABRIL 2000

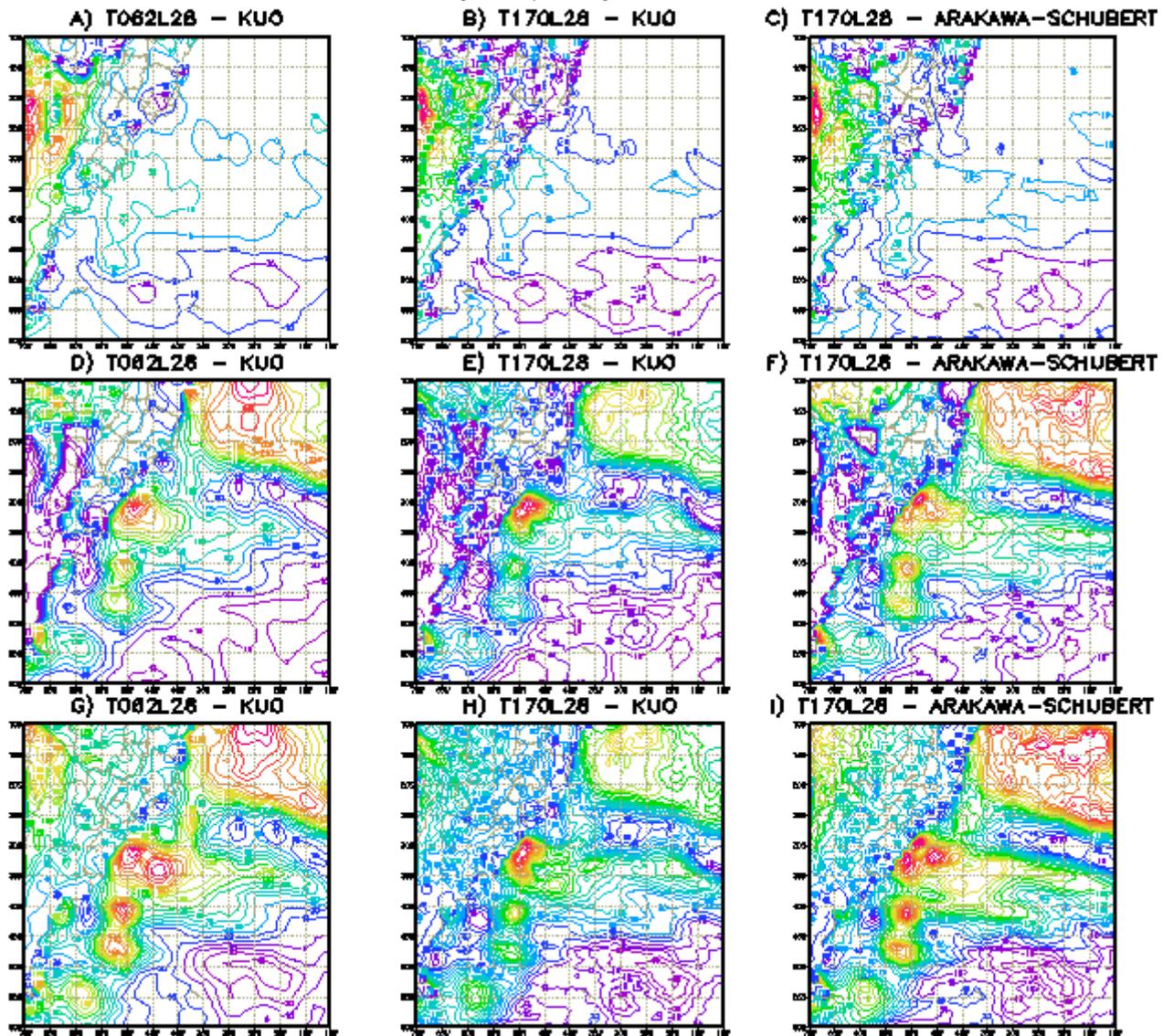


Figura 11 – Fluxo de calor sensível, de calor latente e sua soma da superfície para a atmosfera para baixa e alta resolução.

## AGRADECIMENTOS

O autor se beneficiou de discussões com os Drs. Pedro L.S. Dias (IAG/USP), Saulo R.M. Barros (IME/USP), Dan Marchesin (IMPA/RJ) e Jairo Panetta (consultor do CPTEC), bem como de implementações conjuntas que permitiram rodar o modelo operacional global do CPTEC em alta resolução.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anthes, R.A. A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. **Mon. Wea Rev.**, v.105, p. 270-286.
- Bonatti, J.P. Capacidade do modelo global operacional do CPTEC/COLA T062L28 em simular a evolução de ciclôgêne de meso-escala: estudo de caso. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. Submetido.
- Borges Mendonça, R.W. **Análises dos balanços de vorticidade, calor e umidade no Modelo Global do CPTEC/COLA para previsão de tempo.** São José dos Campos, 2000, 128p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE.
- Kinter, J.L., DeWitt, D., Dirmeyer, P.A., Fennessy, M.J., Kirtman, B.P., Marx, L., Schneider, E.K., Shukla, J., Strauss, D.M. **The COLA Atmosphere-Biosphere General Circulation Model Volume 1: Formulation.** Calverton, MD, 1997, 46p. Report No. 51, Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies - COLA .
- Moorthi, S., Suarez, M.J. Relaxed Arakawa-Schubert: A parameterization of moist convection for general circulation models. **Mon. Wea Rev.**, v.120, p.978-1002.