ESTUDO PRELIMINAR DA ENERGÉTICA DE ÁREA LIMITADA PARA O CASO CATARINA

José Augusto Paixão Veiga[1]

RESUMO. Neste estudo aplica-se o conceito de energética de área limitada (*EAL*) ao caso do furacão Catarina. O cômputo da *EAL* é realizado numa área que se estende entre as latitudes de 23 e 33° S e as longitudes de 37 e 53° oeste. Esta área engloba a trajetória do furacão Catarina (Figura 1). Neste estudo preliminar da energética do Catarina, computam-se todos os termos de energia e suas conversões, além dos termos de geração. Observa-se um aumento expressivo da energia cinética (K_E) durante o estágio de desenvolvimento do furacão. O aumento de K_E está relacionado com a razão de crescimento de C_K que apresenta máximo valor 6 horas antes do máximo valor de K_E. O termo de conversão baroclínica (C_E) apresenta baixos valores antes do máximo K_E (12Z do dia 28), o que indica uma fraca conversão baroclínica durante a fase matura do Catarina.

ABSTRACT. A limited area energetics (*EAL*) is applied to the First Brazilian hurricane that hit Brazilian continent along its southern coast. The *EAL* was computed between 23-33° S and 37-53° W, an area which encloses the hurricane track (Figure 1). In this preliminary study of the energetics of Catarina, all energy, conversions energy, and generation terms are computed. It is noted a large increase of K_E (Kinetic Energy) during the development of the hurricane. The increase of K_E is related to the rate of growth of the conversion C_K that present its maximum 6 hours before the extreme value of K_E. The baroclinic conversion term (C_E) before the maximum K_E presents small values indicating a weak baroclinic conversion during the mature phase of Catarina.

Palavras-Chave: Energética, Furacão Catarina, Ciclone tropical[1]

1 – 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 NASA, 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 aparecimento do Catarina motivou a sociedade americana de meteorologia a promover um evento especial na 26ª Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology (Silva Dias et al., 2004). Na conferencia foi levantado que todos os modelos numéricos de previsão de tempo subestimaram a intensidade do sistema ao chegar à costa. O modelo ETA 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, uma avaliação da energética de área limitada (*EAL*) desse sistema pode trazer a luz importantes e relevantes aspectos dinâmicos que não foram antes levantados do ponto de vista da modelagem numérica. Por tanto, a formação e o desenvolvimento do Catarina do ponto de vista da energética é o principal objetivo deste trabalho.

O presente trabalho aborda uma avaliação da *EAL* aplicada ao caso do furacão Catarina como também tem o intuito de explorar mais os detalhes sobre o desenvolvimento desse sistema através das suas trocas de energia potencial e cinética. Estudos objetivando a *EAL* de distúrbios tropicais de escala sinótica tais como depressões monçônicas (Rajamani e Sikdar, 1989), vórtices associados ao início das monções (George e Mishra, 1993), ondas de leste (Norquist et al., 1977), distúrbios de média latitude e furacões (Krishnamurti et al., 1994; Krishnamurti et al., 2005) tem profundamente contribuído de forma expressiva para o melhor entendimento do desenvolvimento e manutenção desses fenômenos.

2 – DADOS E METODOLOGIA

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.

Os dados utilizados para este estudo são oriundos das analises do NCEP e estão numa grade horizontal de, aproximadamente, 0.5 × 0.5 grau de latitude e longitude. Estes dados foram gentilmente cedidos pelo chefe da Divisão de Modelagem e desenvolvimento (DMD) do CPTEC, Dr. Jose Paulo Bonatti. Os dados apresentam-se em 18 níveis na vertical (1000-3 hPa), onde as variáveis utilizadas foram, as componentes zonal (**u**) e meridional (**v**) do vetor velocidade do vento

(**V**), a velocidade vertical omega (ω) e a temperatura (T). Com estas variáveis é possível se realizar o cálculo do resíduo a partir da equação da energia termodinâmica (Holton, 2004). O cálculo deste resíduo é necessário para que seja possível os cômputos dos termos incluídos na *EAL*.

3 – RESULTADOS

A análise do desenvolvimento do furacão Catarina é explorada em função do crescimento da sua energia cinética sobre uma área entre as latitudes de 23 a 33 graus sul e 37 a 53 graus oeste. A escolha da energia cinética como ponto principal neste trabalho, está ligada ao fato de que a energia cinética apresenta máximos valores durante o período de maior intensidade do furacão. Uma vez observado o dia em que a energia cinética é máxima pode-se avaliar de onde foi extraído energia, se de A_E ou de K_Z, para o crescimento do furacão. A trajetória do Catarina a partir da sua Gênese pode ser observada a partir da figura 1. A partir desta figura observa-se que entre os dias 20, às 12Z, e 23, às 00Z, o sistema apresenta um deslocamento de noroeste-sudeste. A partir do dia 23, o Catarina começa a apresentar um deslocamento de leste para oeste. Ao longo deste deslocamento, o Catarina vai ganhando energia até tornar-se um furacão do tipo F1. É durante este trajeto (leste-oeste) do furacão Catarina que pretende-se avaliar a *EAL*.

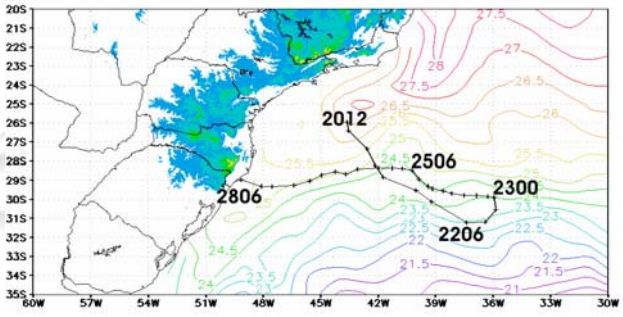


Figura 1- Trajetória do Catarina em contraste com os máximos valores de TSM. Figura gentilmente cedida por Pezza e Simmonds, Universidade de Melbourn (Pezza e Simmonds, 2005).

Com relação aos resultados da energética do furacão Catarina, observa-se que, a partir da figura 2a, que a energia potencial disponível zonal (*Az*) cresce a partir das 12Z do dia 27. Este crescimento de A_Z é atribuído a sua geração (G_Z) através da covariância entre a média zonal do aquecimento e da temperatura. A partir das 12Z do dia 27 há um aumento da energia potencial disponível associado ao distúrbio (G_E), ver figura 2b. Este aumento de *Ae* está relacionado a pequena razão de crescimento de G_E (figura 3f). A pequena razão de crescimento de *Ae* deve estar associada à pequena razão de aumento do núcleo quente do Catarina. A energia cinética zonal (K_Z), figura 2d, apresenta um crescimento relativamente pequeno a partir das 12Z do dia 27, em quanto que a energia cinética da perturbação (K_E), figura 2 c, apresenta um forte aumento, a partir das 12Z do dia 27, até alcançar um máximo após 24 horas. Preliminarmente indica-se que a diminuição

(aumento) na razão de crescimento de A_Z (A_E) e Kz (K_E) estaria ligada ao fato de que o furacão intensifica-se a partir de processos convectivos na escala espacial do furacão.

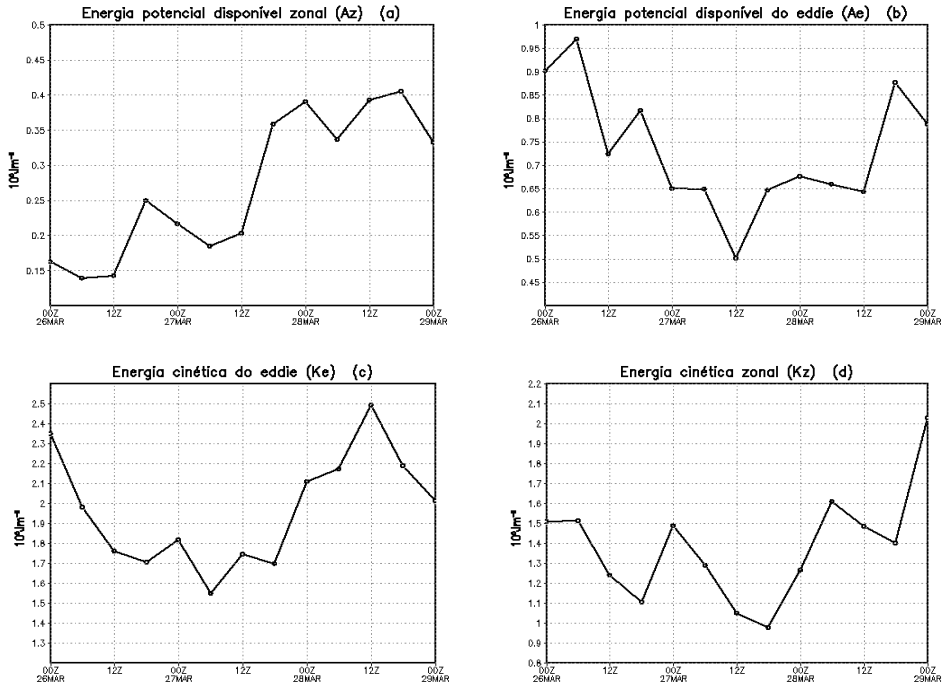


Figura 2- Evolução temporal da EAL para o domínio 23-33° Sul e 33-55° Oeste: energia potencial disponível zonal (a), energia potencial disponível da perturbação (b), energia cinética da perturbação (c) e energia cinética zonal (d) para o período de 00Z de 26 a 00Z de 29 de marco. As unidades estão 10^5 J m^{-2}.

A serie temporal dos termos de conversão de energia e geração, são mostrados a partir das figuras 3a-f. A conversão de *Az* para A_E (C_A) apresenta a menor magnitude em relação aos demais termos. Isto deve-se ao fato de que o campo térmico é quase zonal com um pequeno gradiente meridional de temperatura. Como conseqüência, a transferência de *Az* para A_E é pequena em relação aos demais termos de conversão e geração de energia. O Máximo valor de conversão entre A_Z e K_Z (C_Z) ocorre durante as ultimas 12 horas de observação (figura 3b). O aumento de C_Z está relacionado a uma organização do tipo célula de Hadley (ar quente subindo e ar frio descendo, meridionalmente), que é maior por volta das 12Z do dia 28. A figura 3c mostra que a conversão de A_E para K_E (C_E) apresenta uma configuração alternante e não muito clara. De acordo com o termo C_K (conversão entre K_Z e K_E), figura 3d, entre os dias 27 e 28 existe uma forte conversão de energia de K_Z para K_E indicando um crescimento barotrópico durante o desenvolvimento do Catarina.

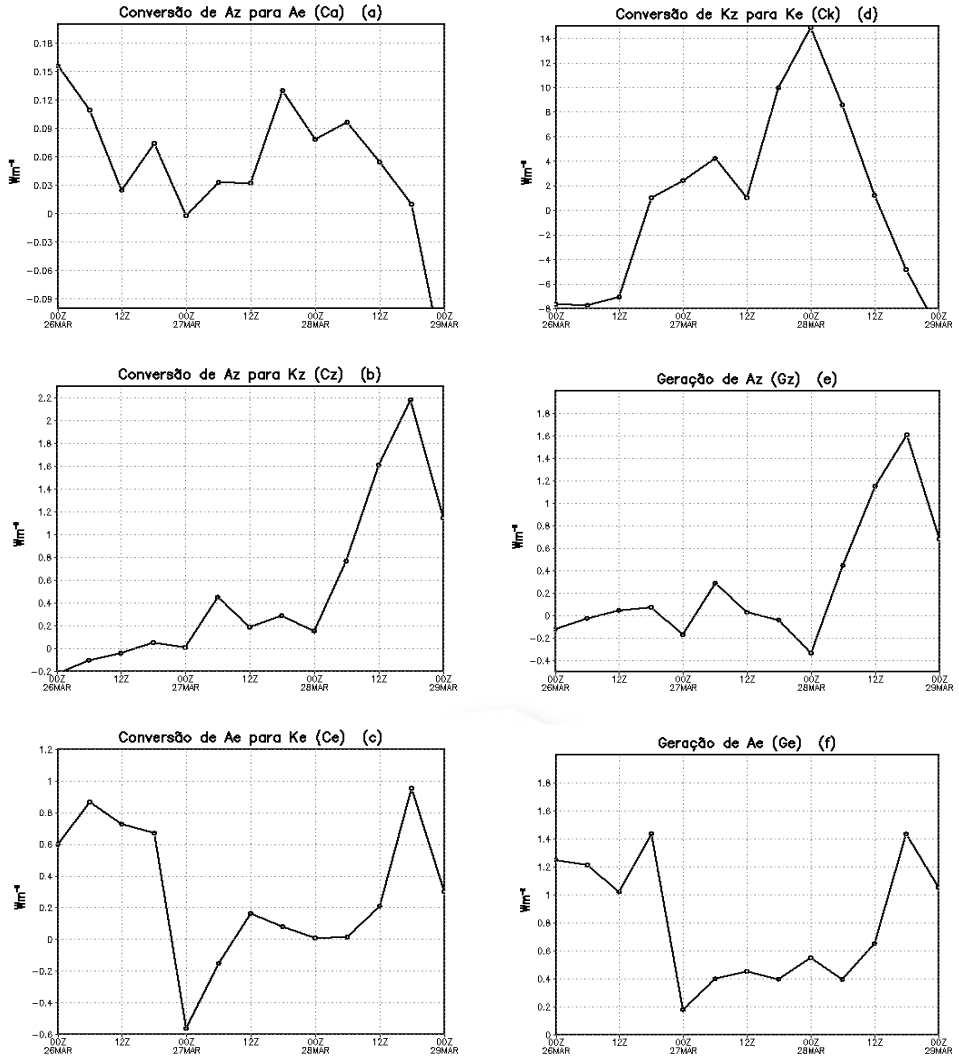


Figura 3- Evolução temporal dos termos de conversão e de geração de energia para o domínio 23-33° Sul e 33-55° Oeste: conversão de A_Z para A_E (a), conversão de A_Z para K_Z (b), conversão de A_E para K_E (c), conversão de K_Z para K_E (d), geração de A_Z (e) e geração de A_E (f). As unidades estão em W m^{-2}.

4 – CONCLUSÕES

Neste trabalho aplica-se o conceito de energética de área limitada (*EAL*) para o caso do furacão Catarina. O período avaliado neste trabalho corresponde aos dias 26 a 29 de março de 2004. Os dados analisados neste trabalho correspondem às análises do NCEP em alta resolução (~ 0.5×0.5º de lat-lon). O cômputo da *EAL* é realizado numa área que se estende entre as latitudes de 23 e 33° S e as longitudes de 37 e 53° oeste. Durante os resultados, observou-se um aumento expressivo da energia cinética (K_E) durante o estágio de desenvolvimento do furacão Catarina. Este padrão é compatível com o aumento da atividade em furacões. O aumento de K_E, provavelmente, está relacionado com a razão de crescimento de C_K (conversão entre os termos K_Z e K_E) que apresenta máximo valor 6 horas antes do máximo valor de K_E. O termo de conversão baroclínica (C_E), que indica a troca de energia entre A_E e K_E, apresenta baixos valores antes do máximo K_E (12Z do dia 28), o que indica uma fraca conversão baroclínica durante a fase matura do Catarina. Apesar da

EAL ser uma técnica bastante utilizada para casos envolvendo furacões, os resultados para o caso do furacão Catarina não apresentam-se tão conclusiveis quanto aos trabalhos de Krishnamurti et al. (2005) e Michaelides (1987).

5 – AGRADECIMENTOS: Ao Dr. José Paulo Bonatti, chefe da Divisão de Modelagem e Desenvolvimento (DMD) do CPTEC por ter cedido amigavelmente os dados das análises do NCEP de alta resolução espacial, sem o qual não seria possível a realização deste estudo de forma tão adequada.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

George, L. e Mishra, S. K., 1993: Na observational study of the energetics of the onset monsoon vortex. **Q. J. R. Meteorol. Soc.**, 119, 755-778.

Holton, An Introduction to Dynamic Meteorology, James R. Holton (Academic
Press, New York, 4nd edition 2004.

Krishnamurti, T. N., Bedi, H. S., Darlene, O. e Vivek, K. H., 1994. The formation of Hurricane Frederic of 1979. **Mon. Wea. Rev.**, 122, 1050-1074.

Krishnamurti, T. N., et al., 2005: The Hurricane Intensity Issue. **Mon. Wea. Rev.**, 133, 1886-1912.

Lorenz, E. N., 1967: The nature and theory of the general circulation of the atmosphere. **World Meteorological Organization**, Tech. Nota 218, T. P. 115, 161 pp.

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

Norquist, D. C., Recker, E. E. e Reed, R. J., 1977: The energetics of African wave disturbances as observed during Phase III of GATE. **Mon., Wea., Rev.**, 105, 334-342.

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

Rajamani, S. e Sikdar, D. N., 1989: Some dynamical characteristcs and thermal structure of monsoon depressions over the Bay of Bengal. **Tellus**, 41A, 255-269.

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