

INÍCIO DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA BACIA AMAZÔNICA CENTRAL COM DADOS DE RADIAÇÃO DE ONDA LONGA ANTI-SIMÉTRICOS EM RELAÇÃO AO EQUADOR

Sâmia Regina Garcia¹, Mary Toshie Kayano²

^{1,2} Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Avenida dos Astronautas 1758–São José dos Campos- SP- Brazil, ¹samia@cptec.inpe.br, ²mary@cptec.inpe.br

RESUMO

O presente trabalho investiga aspectos do Início da Estação Chuvosa (IEC) na região da Bacia Amazônica Central (BAC) para o período de 1979 a 2005. A análise é feita utilizando dados de Radiação de Onda Longa (ROL) anti-simétricos em relação ao equador (ROLant) e a técnica de Funções Ortogonais Empíricas (EOF). A EOF01 de ROLant mostra o IEC na região através da mudança de sinal das Componentes Principais (PC01). Compostos de ROL, pressão ao nível do mar e vento em 200hPa mostram consistência física entre eles nas pântadas anteriores e posteriores ao IEC e, ainda, a evolução dos campos mostra aspectos da transição entre os sistemas monçônicos das Américas. Finalmente, um índice para propósito de monitoramento baseado na configuração espacial desse primeiro modo é construído. Assim, trata-se de uma nova metodologia de detecção das datas de IEC para regiões do Sistema de Monção da América do Sul.

INTRODUÇÃO

A região da América tropical é conhecida como um dos três centros convectivos mais ativos e intensos do globo, sendo a Bacia Amazônica a grande fonte de calor para a região. Em adição a essa característica convectiva da América tropical, pode-se observar ainda a existência de sistemas monçônicos nas Américas que, juntamente com a Ásia, formam as principais regiões do globo com variações sazonais de precipitação. Murakami e Nakazawa (1985) observaram que os sistemas monçônicos do globo podem ser encontrados no campo de Radiação de Onda Longa (ROL) anti-simétrico em relação ao equador (ROLant). Eles notaram zonas convectivas sobre a África, o continente marítimo e América do Sul com tal campo e observaram a mudança de sinal do mesmo nos períodos de transição do estabelecimento da monção entre os dois hemisférios.

Assim, como o Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) configura-se o maior componente dos regimes de precipitação de verão deste continente, o conhecimento do Início da Estação Chuvosa (IEC) para a região é de grande importância para a sociedade em geral e é foco de vários estudos da comunidade

científica. Kousky (1988) determinou o início climatológico usando dados de ROL em cada ponto de uma grade de 2,5° em latitude e longitude, na América do Sul, para o período de 1979 a 1987. O início era dado quando o valor climatológico de ROL estivesse abaixo de 240 W/m² em uma pântada e desde que 10 das 12 pântadas anteriores (subseqüentes) tivessem ROL acima (abaixo) de 240 W/m². Ele determinou que, geralmente, o início desenvolve-se de noroeste a sudeste. Horel et al. (1989) observaram que o IEC na Bacia Amazônica é relativamente rápido, ocorrendo tipicamente dentro de um único mês. Eles encontraram que a Alta da Bolívia (AB) se desenvolve rapidamente durante o início da convecção, sendo uma resposta à liberação de calor latente sobre a Amazônia.

Marengo et al. (2001) analisaram o IEC na Bacia Amazônica brasileira para o período de 1979 a 1996 definindo as datas através de um critério semelhante ao de Kousky (1988), mas usando valores limítrofes de precipitação. Eles também encontraram que o início progride na direção sudeste. Utilizando um índice combinado de precipitação e vento, Gan et al. (2004) identificaram as pântadas de IEC para a região centro-oeste do Brasil. Eles encontraram grande variabilidade nas datas de IEC, justificada pela possível dependência de sistemas transientes para iniciar a convecção profunda. Eles confirmaram os resultados obtidos por Kousky (1988), Horel et al. (1989) e Marengo et al. (2001) no que concerne à direção noroeste-sudeste de propagação da convecção associada ao SMAS.

Logo, pode-se observar que a maioria dos trabalhos utiliza dados de ROL, precipitação e vento para detecção das datas de IEC. Portanto, esse trabalho propõe uma metodologia de análise dessas datas ainda não documentada para o SMAS. Tal metodologia utiliza o campo de ROLant, o qual possui aspectos inter-hemisféricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados diários de ROL obtidos de um satélite de órbita polar da “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA), os quais foram interpolados (Liebmann e Smith, 1996). Os dados de ROL são úteis para investigar

distribuições de grande escala de nebulosidade e atividades convectivas na região tropical. Também foram utilizados dados diários de pressão ao nível do mar (PNM) e componentes zonal e meridional do vento em 200hPa, obtidos do arquivo da Reanálise 2 do “National Centers for Environmental Prediction – Department of Energy” (NCEP-DOE; Kanamitsu et al. 2002). Todos os dados encontram-se disponíveis em uma grade com espaçamento de 2,5° de latitude por longitude.

Os dados foram selecionados para o período de 28 anos de 1979 a 2006. Inicialmente, foram calculadas pântadas com o intuito de se evitar efeitos de transientes de mais alta frequência nas análises. Em seguida, o ROLant é calculado, assim como proposto por Murakami e Nakazawa (1985). Tal divisão, em relação ao equador geofísico ($y=0$), é feita da seguinte maneira:

$$ROLant(x, y) = \frac{ROL(x, y) - ROL(x, -y)}{2} \quad (1)$$

em que x é a longitude e y é a distância latitudinal em relação ao equador ($y=0$). O ROLant se refere à diferença de ROL do hemisfério sul (HS) menos do hemisfério norte (HN). Assim valores negativos (positivos) de ROLant numa área ao sul do equador indicam presença (ausência) de convecção nesta área.

A técnica de EOF é aplicada ao campo de ROLant para a região da BAC (2,5°S - 10°S e 62,5°W - 55°W). Essa área é uma das utilizadas por Marengo et al. (2001), que estudaram o IEC usando precipitação. Logo, foi escolhida nesse trabalho para posterior comparação. A série de ROLant que entra na análise é composta por 25 valores em cada ano, totalizando 675 valores em tempo (25 pântadas x 27 anos). Esses 25 valores de ROLant são formados pela pântada 54, pântada média de IEC encontrada por Marengo et al. (2001) para essa região, e mais 12 pântadas antes e 12 pântadas depois a essa (pântadas de 42 a 66). Já os 27 anos são compostos pelos anos de 1979 a 2005.

O método proposto por North et al. (1982) é usado para testar a significância física dos modos. Os autovetores são apresentados como padrões de correlação. O número de graus de liberdade é estimado para cada ano, dividindo o número de pântadas (25) pelo intervalo de tempo de duas realizações independentes. O número de graus de liberdade médio é considerado para verificar a significância estatística das correlações. Neste caso, o número de graus de liberdade médio foi de 5. O teste t-Student aplicado a 5 graus de liberdade mostra que correlações absolutas maiores que 0,75 são significativas ao nível de confiança de 95%.

Para embasamento físico desse método, aspectos da circulação de grande escala e as condições

atmosféricas são investigadas juntamente com o primeiro modo da EOF (EOF01) para a área limitada em 50°S, 30°N, 110°W e 10°W. As análises dos campos são feitas para sete casos de compostos: 6, 4 e 2 pântadas antes do IEC, pela pântada de IEC e 2, 4 e 6 pântadas depois do IEC. Logo, as condições atmosféricas de grande escala são analisadas antes, durante e depois do IEC determinados pelo campo de ROLant. Assim, são obtidos através do método de composição, os campos associados das variáveis: ROL, PNM e vento em 200hPa para os casos selecionados.

Em seguida, um índice para propósito de monitoramento é construído projetando-se o campo de ROLant do período de 1979 a 2006 nos padrões das configurações da EOF01.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A EOF01 para o ROLant do IEC explica 75% da variância total dessa variável e, de acordo com o método proposto por North et al. (1982), este modo é bem separado do segundo. Logo, apenas o primeiro modo é analisado, visto que explica grande parte da variância total.

A EOF01 do IEC mostra um padrão dominante de ROLant com correlações negativas centradas em 7,5°S e 59°W, aproximadamente (Figura 1).

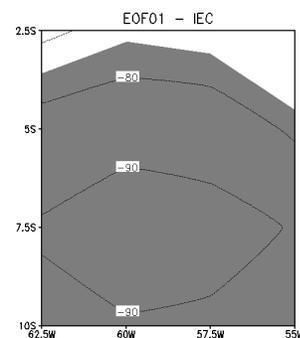


Figura 1 – Configuração espacial da EOF01 de ROLant do IEC na BAC para 1979-2005. Áreas hachuradas indicam valores absolutos maiores que 0,75.

A série temporal da primeira componente principal (PC01) mostra uma alternância do sinal negativo para positivo entre as pântadas 50 e 58, dependendo do ano (Figura 2). Essa alternância ilustra o IEC já que, com $PC01 > 0$, têm-se correlações negativas na região da BAC que indicam atividade convectiva. Este resultado concorda com o de Marengo et al. (2001) que encontraram a pântada 54 como média de IEC para essa região. Logo, esse modo representa o estabelecimento da EC monçônica na região observado através do ROLant. A inversão de

sinal do PC nem sempre acontece de maneira definitiva em todos os anos, mas uma vez que o padrão inicial é quebrado, as condições convectivas tornam-se favoráveis para se ter o IEC.

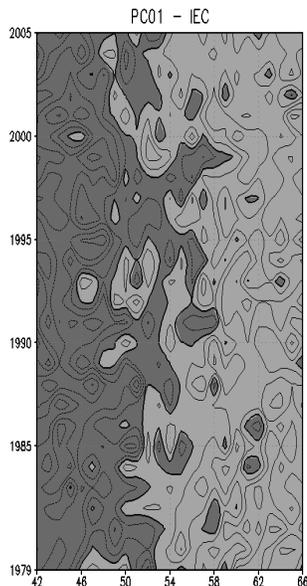


Figura 2 – Componentes Principais do primeiro modo. O intervalo de contorno é 0,5. Áreas hachuradas escuras (claras) indicam PCs negativos (positivos).

Os mapas de ROL mostram a progressão da convecção monçônica de seis pântadas antes do IEC a seis pântadas depois do mesmo (Figura 3). Seis pântadas antes do IEC, a maior atividade convectiva encontra-se na região noroeste da Amazônia, na América Central e ao longo das Zonas de Convergência Intertropical no sudeste do Pacífico norte e no Atlântico equatorial norte. Duas pântadas depois, a convecção na América Central começa a se enfraquecer, indicando a transição da monção entre os hemisférios. Duas pântadas antes do IEC, a atividade convectiva começa a deslocar-se para sudeste e se intensificar progressivamente. Essa configuração de expansão da convecção para sudeste foi notada anteriormente por Kousky (1988), Horel et al. (1989), Marengo et al. (2001) e Gan et al. (2004). Nas pântadas de início, o campo de ROL mostra uma banda de convecção orientada na direção noroeste-sudeste, estendendo-se até o sudeste da América do Sul e oceano Atlântico adjacente. Essa configuração está relacionada aos sistemas transientes que estacionam na região, dando origem à Zona de Convergência do Atlântico Sul. Nas duas pântadas seguintes, a convecção permanece ativa em grande parte da Bacia Amazônica, e se intensifica, cobrindo grande parte da região monçônica da América do Sul duas pântadas depois. Finalmente, seis pântadas depois do IEC, a convecção encontra-se bem configurada e

intensa na região, não se observando atividade convectiva na América Central.

A Figura 4 mostra a evolução da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e do Pacífico Sul

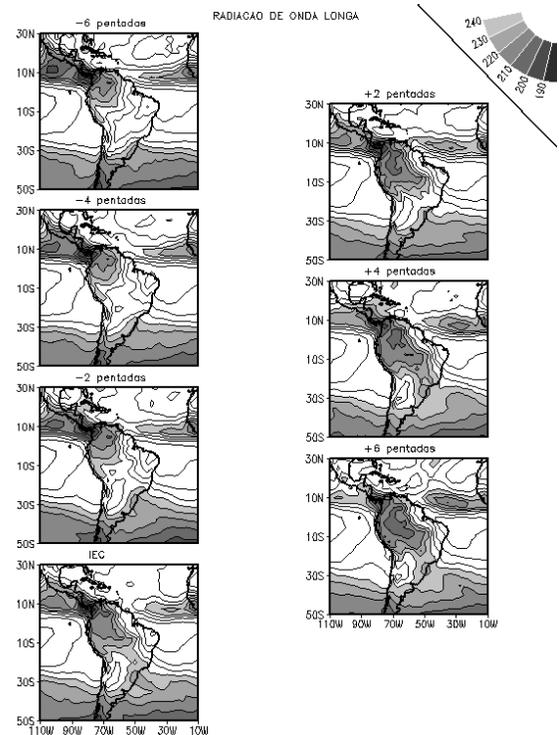


Figura 3 – Compostos de ROL para o período anterior e posterior ao IEC.

(ASPS) antes, durante e depois do IEC, através do campo de PNM. Como a ASAS possui maior influência na EC da América do Sul do que a ASPS e, visto que a última não mostra grandes alterações na evolução dos campos, somente a ASAS é analisada. Assim, das seis a duas pântadas antes do IEC não se observa muita alteração na posição e na localização de tal sistema. Entretanto, nas pântadas de IEC, a ASAS encontra-se mais afastada do continente, já que a pressão no mesmo se reduz. A configuração se mantém nas pântadas seguintes e, nas seis pântadas depois do IEC, a mesma encontra-se bem afastada do continente. Quando comparado esse campo com o de Fim da EC (FEC), não mostrado, observa-se que a ASAS encontra-se mais intensa nas pântadas de IEC do que nas de FEC, ou seja, mesmo mais afastada do continente, ela está mais intensa nesse período. Logo, existe um maior transporte de umidade para o continente. Marengo (1992) e Rao et al. (1996) mostraram que o aumento da precipitação na Amazônia está associado com o aumento do transporte de umidade do Atlântico. Vale observar, ainda, o ramo da Alta Subtropical do Atlântico Norte expandindo-se para oeste sobre a América Central, da pântada do

IEC às pênadas posteriores, indicando, também, a transição da monção do HN para o HS.

O campo de vento em 200hPa (Figura 5) mostra claramente a formação da AB nas pênadas próximas ao IEC, aspecto peculiar da EC do SMAS. Seis e quatro pênadas antes do IEC, o escoamento em altos níveis encontra-se pouco ondulatório, o qual começa a atingir a configuração da AB duas pênadas depois. O rápido desenvolvimento desse anticiclone em altos níveis durante o IEC foi documentado por Horel et al. (1989) como sendo uma resposta à liberação de calor latente na Amazônia. Nas pênadas de IEC, a AB encontra-se bem configurada, assim como o cavado corrente abaixo próximo ao nordeste do Brasil. Nas pênadas seguintes, observa-se a intensificação desse sistema, o qual encontra-se bem configurado seis pênadas depois do IEC, com a AB e o cavado corrente abaixo bem acentuados.

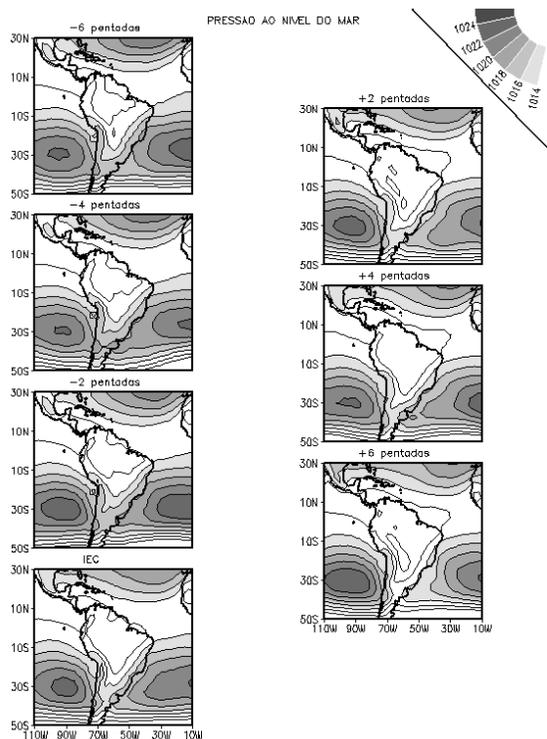


Figura 4 – Como na Fig. 3, mas para PNM.

A análise da EOF01 de ROLant na região da BAC mostra aspectos do IEC na região. Para monitorar esses períodos de transição, um índice baseado nas configurações espaciais desse primeiro modo é proposto. Esse índice é obtido através da projeção do campo de ROLant nas configurações espaciais desse modo. Logo, um índice de IEC (IIEC) é obtido para o período de 1979 a 2006 (Figura 6). Para o período de 1979 a 2005, esse índice reproduz a série temporal do PC correspondente ao IEC. Através de seu gráfico de pênadas versus anos, a

potencialidade desse índice para propósito de monitoramento é explorada.

O IIEC mostra dominância de sinais negativos (positivos) antes (depois) da pênada 50 (58).

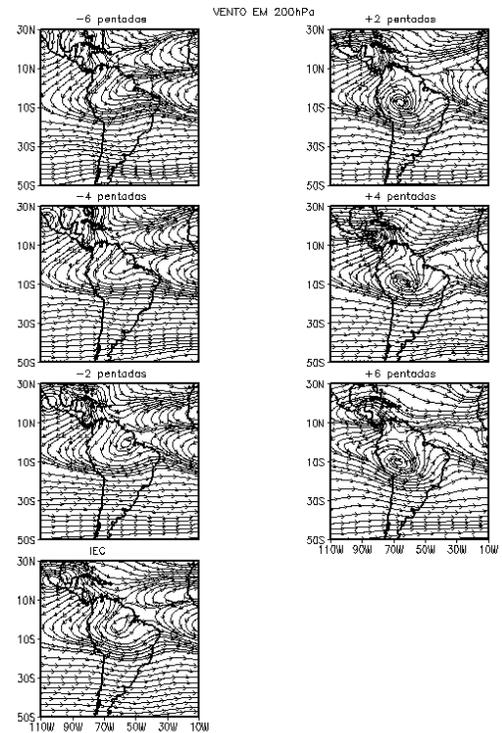


Figura 5 – Como na Fig. 3, mas para vento em 200hPa.

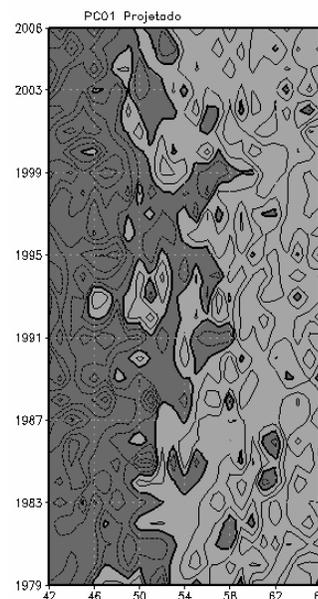


Figura 6 – Pênada versus ano do IIEC para a região da BAC.

Essa alternância do sinal negativo para positivo ilustra em qual pênada, para cada ano, observa-se o IEC na

região. Outro aspecto interessante é que, no ano de 2006, a projeção manteve a transição do sinal que detecta o início da convecção monçônica para a região da BAC. Assim, pode-se observar nessa figura que o IEC ocorreu, para esse ano, dentro da média encontrada.

CONCLUSÕES

A EOF01 do ROLant na região da BAC para 1979-2005 mostra correlações negativas sobre toda a região que, juntamente com a mudança de sinal do PC de negativo para positivo, indica as pêntadas de IEC. Em torno do IEC, o deslocamento da convecção no sentido noroeste-sudeste, a diminuição da pressão continental, assim como o deslocamento para leste e intensificação da Alta Subtropical do Atlântico Sul e a formação da Alta da Bolívia são as características propícias para se ter o IEC na região.

Como a EOF01 de IEC ilustra a transição da estação seca para o início da convecção monçônica, um índice baseado nas configurações espaciais desse modo é proposto aqui para monitorar essa transição. Logo, o IIEC parece ser útil para propósitos de monitoramento já que, a análise desse índice, indica a transição de IEC.

Assim, esse trabalho oferece uma nova metodologia para se determinar as pêntadas de IEC relacionados ao Sistema de Monção da América do Sul através de um novo parâmetro: o ROLant. Como esse campo considera aspectos dinâmicos dos dois hemisférios e existe uma migração sazonal dos sistemas monçônicos entre os mesmos (Murakami e Nakazawa, 1985), esse parâmetro pode ser mais completo e mais eficiente para tal análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GAN, M.A., V.E. KOUSKY, C.F. ROPELEWSKI, 2004: The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. *J. Climate*, **17**, 47-66.

HOREL, J.D., A.N. HAHMANN, J.E. GEISLER, 1989: An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. *J. Climate*, **2**, 1388-1403.

KANAMITSU, M., W. EBISUZAKI, J. WOOLLEN, S-K YANG, J.J. HNILO, M. FIORINO, G.L. POTTER, 2002: NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631-1643.

KOUSKY, V.E., 1988: Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Rev. Bras. Meteor.*, **3**, 217-231.

LIEBMANN, B., C.A. SMITH, 1996: Description of complete (interpolated) outgoing

longwave radiation data set. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 1275-1277.

MARENGO, J., 1992: Interannual variability of surface climate in the Amazon Basin. *Int. J. Climatol.*, **12**, 853-863.

MARENGO, J., B. LIEBMANN, V.E. KOUSKY, N. FILIZOLA, I. WAINER, 2001: On the onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. *J. Climate*, **14**, 833-852.

MURAKAMI, T., T. NAKAZAWA, 1985: Transition from the southern to northern hemisphere summer monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 1470-1486.

NORTH, G.R., T.L. BELL, R.F. CAHALAN, F.J. MOENG, 1982: Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 699-706.

RAO, V.B., I.F.A. CAVALCANTI, K. HADA, 1996: Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. *J. Geophys. Res.*, **101**, 23539-26551.