

INÍCIO E FIM DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL – PARTE I: ÍNDICES DE MONITORAMENTO

Sâmia Regina Garcia¹, Mary Toshie Kayano²

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

RESUMO: O Início e Fim da Estação Chuvosa (IEC e FEC, respectivamente) são investigados na região Centro-Oeste do Brasil para o período de 1979-2006. A análise é feita utilizando dados de Radiação de Onda Longa anti-simétricos em relação ao equador (ROLant) e a técnica de Funções Ortogonais Empíricas (EOF). Os EOF01 para os dados de IEC e de FEC mostram correlações negativas na região. As mudanças de sinal da primeira componente principal (PC01) para o IEC de negativo para positivo indicam a transição da Estação Seca (ES) para a Estação Chuvosa (EC) e, para o FEC, de positivo para negativo, a transição da EC para a ES. Finalmente, índices baseados nos padrões das configurações espaciais desses modos são construídos. A potencialidade desses índices para propósito de monitoramento é analisada. Assim, trata-se de uma nova metodologia de detecção das datas de IEC e FEC para regiões do Sistema de Monção da América do Sul utilizando aspectos inter-hemisféricos.

ABSTRACT: ONSET AND DEMISE OF THE RAINY SEASON OVER WEST-CENTRAL BRAZIL – PART I: MONITORING INDICES

Onset and demise of the rainy season (ONR and DER, respectively) over west-central Brazil are investigated for the 1979-2006 period. Analyses use equatorially anti-symmetric outgoing longwave radiation (AOLR) and the empirical orthogonal function (EOF) technique. The first EOF modes for the ONR and DER data show negative loadings over the region. The sign changes of the first principal component (PC01) for the ONR data from negative to positive indicate the transition from the dry season (DS) to the rainy season (RS), and for the DER from positive to negative, the transition from the RS to DS. Finally, indices based on the loadings patterns of the first modes are constructed. The potential of these indices for monitoring tasks are analyzed. Thus, this is a new methodology to determine the onset and demise dates of the rainy season for the South American Monsoon System regions using inter-hemispheric aspects.

Palavras-Chave: Monção na América do Sul, Estação Chuvosa, Radiação de Onda Longa

1. INTRODUÇÃO

Um dos três centros convectivos mais ativos e intensos do globo é a América tropical. Tal região é uma grande fonte de calor para a atmosfera e influencia a circulação geral dos trópicos. 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.

Logo, 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 e Fim da Estação Chuvosa (IEC e FEC, respectivamente) para a região é de grande importância para a sociedade em geral e tem sido o foco de vários estudos da comunidade científica. Kousky (1988) determinou o início climatológico usando dados de Radiação de Onda Longa (ROL) em pontos de grade com resolução 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) continuassem com valores acima (abaixo) de 240 W/m². Já em relação ao fim, o mesmo se daria quando o valor de ROL estivesse acima de 240 W/m² em uma pântada, desde que 10 das 12 pântadas anteriores (subseqüentes) continuassem com valores abaixo (acima) de 240 W/m². Ele determinou que, geralmente, o início desenvolve-se de noroeste a sudeste e, o fim, ocorre na direção noroeste. Horel et al. (1989) observaram que o IEC na Bacia Amazônica é relativamente rápido, ocorrendo tipicamente dentro de um único mês, diferente do FEC, sendo este mais lento. Eles encontraram que a Alta da Bolívia 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 e o FEC 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 e, o fim, na direção norte, sendo este mais lento que o primeiro. Utilizando um índice combinado de precipitação e vento, Gan et al. (2004) identificaram as pântadas de IEC e FEC para a região Centro-Oeste do Brasil (COB) no período de 1979 a 2000. Eles encontraram uma maior variabilidade nas datas de IEC quando comparadas às de FEC, 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.

Utilizando dados de ROL, Veiga et al. (2002) encontraram uma grande variabilidade nas datas de início (pântadas referentes a setembro, outubro e novembro), fim (referentes a fevereiro e março) e na duração das chuvas de monção em parte das regiões sudeste e COB para o período de 1974 a 1998. Eles encontraram também uma associação aos eventos El Niño (chuvas de monção atrasadas) e La Niña (chuvas de monção antecipadas) e a influência do oceano Atlântico na intensidade das chuvas de monção na América do Sul: anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSM) negativas no Atlântico sul implicam em chuvas mais intensas. Essa relação é justificada pelo fato de que tais ATSM negativas intensificam a Alta Subtropical do Atlântico sul, causando um aumento no transporte de umidade para a região de monção, a qual se encontra relativamente mais quente.

Logo, pode-se observar que a maioria dos trabalhos utiliza dados de ROL, precipitação e vento para detecção das datas de IEC e FEC. Entretanto, Murakami e Nakazawa (1985) observaram que os sistemas monçônicos do globo, incluindo o SMAS, podem ser encontrados no campo de ROL anti-simétrico em relação ao equador (ROLant). Eles notaram zonas convectivas sobre as regiões monçônicas com tal campo e observaram a mudança de sinal do mesmo nos períodos de transição do estabelecimento da monção entre os dois hemisférios. Portanto, esse trabalho propõe uma nova metodologia de análise dessas datas de IEC e FEC através da utilização do campo de ROLant, metodologia ainda não documentada para o SMAS e que pode ser mais eficiente já que utiliza aspectos inter-hemisféricos.

2. DADOS E METODOLOGIA

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 e encontram-se disponíveis em uma grade com espaçamento de 2,5° de latitude por longitude. Os dados estão disponíveis no site <http://www.cdc.noaa.gov>.

Os dados foram selecionados para o período de 29 anos de 1979 a 2007. 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 Funções Ortogonais Empíricas (EOF) é aplicada ao campo de ROLant para a região COB, limitada por 20°S, 10°S, 60°W e 50°W. Essa área foi utilizada por Gan et al. (2004). Logo, a mesma 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 58 (22), pântada média de início (fim) encontrada por Gan et al. (2004) para essa região, e mais 12 pântadas antes e 12 pântadas depois a essa. Já os 27 anos são compostos por 1979 a 2005 para IEC e de 1980 a 2006 para FEC reunindo, assim, as EC de 1979-1980 a 2005-2006.

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%.

Em seguida, índices para propósito de monitoramento são construídos projetando-se o campo de ROLant do período de 1979 a 2006 (1980 a 2007) nos padrões das configurações do primeiro modo do IEC (FEC).

3. RESULTADOS

MODOS DOMINANTES DA EOF

Os dois primeiros modos da EOF para o ROLant do IEC explicam, respectivamente, 69% e 12% da variância total para essa variável. De acordo com o método proposto por North et al. (1982), os autovalores correspondentes a esses dois primeiros modos são bem separados um do outro. Assim, 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 15°S e 55°W (Figura 1a). A série temporal do PC do primeiro modo (PC01) mostra uma alternância do sinal negativo (ausência de convecção) para positivo (presença de convecção) entre as pântadas 56 e 60 aproximadamente, dependendo do ano (Figura 2a). Essa alternância ilustra o estabelecimento da EC já que, com $PC01 > 0$, mantêm-se as correlações negativas na região do COB. Esse resultado concorda com o de Gan et al. (2004) que encontraram a pântada 58 como média de IEC para essa região. Logo, esse modo representa o estabelecimento da EC monçônica na região observado através do campo de ROLant. Veiga et al. (2002) e Gan et al. (2004) encontraram grande variabilidade nas datas de IEC no COB. Essa característica também pode ser notada com a utilização desse método, já que se observa tal variabilidade nas pântadas nas quais ocorre a mudança de sinal do PC01 durante os anos da análise (Figura 2a).

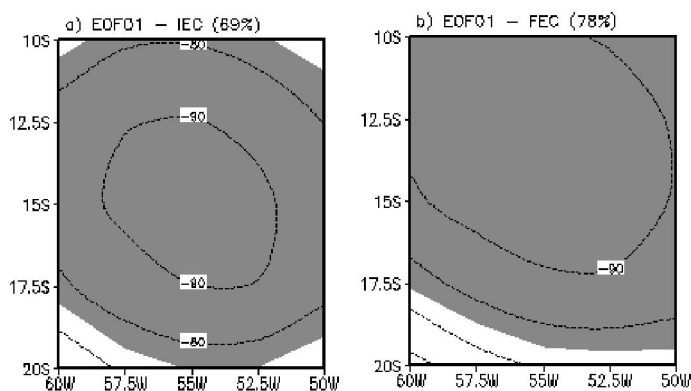


Figura 1 – Configuração espacial da EOF01 de ROLant para a) IEC e b) FEC na região COB. A porção da variância explicada pelo modo está no topo de cada figura. Áreas hachuradas indicam valores absoluto maiores que 0,75.

Quanto à EOF para o FEC, os dois primeiros modos explicam 78% and 10% da variância total, respectivamente. De acordo com o método proposto por North et al. (1982), os autovalores correspondentes a esses dois primeiros modos são bem separados um do outro. Da mesma maneira que para o IEC, apenas o primeiro modo é analisado.

Semelhante aos dados de IEC, a EOF01 dos dados de FEC mostra um padrão dominante de ROLant com correlações negativas em toda a região (Figura 1b). Nesse caso, o padrão espacial possui uma orientação noroeste-sudeste, configuração encontrada anteriormente como a da propagação da convecção monçônica no seu estágio de término (Kousky, 1988; Horel et al., 1989; Marengo et al., 2001; Gan et al., 2004). O PC01 também mostra uma alternância de sinal, mas, nesse caso, de positivo para negativo (Figura 2b). Essa mudança de configuração, geralmente entre as pântadas 20 e 24, ilustra a dissipação da EC monçônica na região, pois PCs negativos correspondem a correlações positivas (Figura 1b) que indicam o início da estação seca. Coerentemente, Gan et al. (2004) encontraram a pântada 22 como média de FEC para essa região. Logo, esse modo representa o término da EC monçônica no COB através da utilização do ROLant.

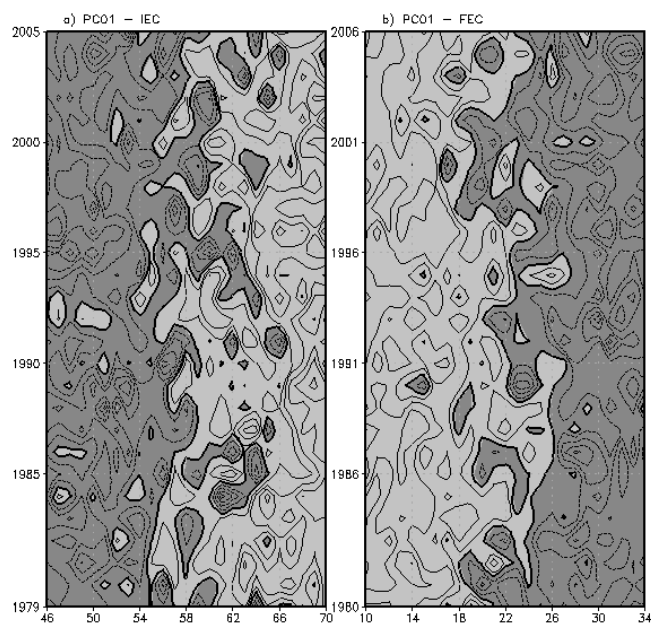


Figura 2 – Componentes principais do primeiro modo para a) IEC e b) FEC na região COB. O intervalo de contorno é 0,5. Áreas hachuradas escuras (claras) indicam valores negativos (positivos) de PC.

ÍNDICES PARA MONITORAMENTO

A análise do primeiro modo das duas rodadas da EOF de ROLant na região COB mostra aspectos do IEC e FEC na região. Para monitorar esses períodos de transição, índices baseados nas configurações espaciais do primeiro modo de cada rodada são propostos. Esses índices são obtidos através da projeção do campo de ROLant nas configurações espaciais desses modos. Logo, um índice de IEC (IIEC) e um de FEC (IFEC) são obtidos para os períodos de 1979 a 2006 e 1980 a 2007, respectivamente (Figuras 3a e 3b). Para os períodos de 1979 a 2005 e 1980 a 2006, esses índices reproduzem as séries temporais dos PCs correspondentes ao IEC e FEC, respectivamente. A eficiência desses índices para propósitos de monitoramento é explorada através de seus gráficos de pântadas versus anos.

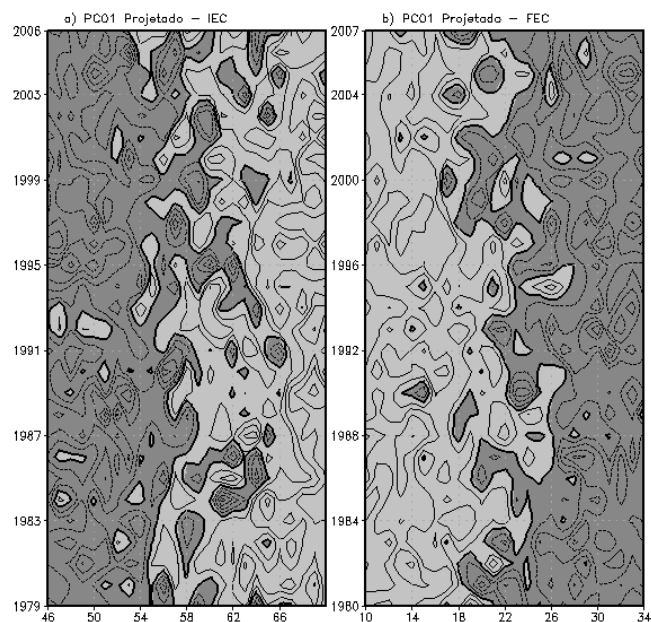


Figura 3 – Pântada versus ano do a) IIEC e b) IFEC para a região COB. As convenções gráficas são as mesmas da Fig. 2.

O IIEC mostra dominância de sinais negativos (positivos) antes (depois) da pântada 56 (60). A

alternância do sinal negativo para positivo ilustra a pântada para cada ano na qual se observa 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 do COB. Assim, pode-se observar nessa figura que o IEC ocorreu, para esse ano, dentro da média encontrada. De maneira similar, os valores do IFEC são predominantemente positivos (negativos) antes (depois) da pântada 20 (24). Logo, nota-se que o fim da convecção monçônica na região é indicado pela transição desses sinais do PC. Cabe ressaltar que a projeção para o ano de 2007 mostra a alternância de sinal positivo para negativo também dentro da média, confirmando a ocorrência do FEC.

4. CONCLUSÕES

Através dos resultados analisados, tem-se que a EOF01 do ROLant de IEC (FEC) na região COB para o período de 1979-2005 (1980-2006) mostra correlações negativas sobre toda a região que, juntamente com a mudança de sinal do PC de negativo (positivo) para positivo (negativo), indica as pântadas de IEC (FEC). As pântadas médias encontradas são coerentes com o trabalho de Gan et al. (2004) que utilizaram um índice combinado de vento e precipitação para a determinação de tais datas. Como a EOF01 de IEC e FEC do campo de ROLant mostra a transição de início e de fim da convecção monçônica, índices baseados nas configurações espaciais desses modos são propostos aqui para monitorar essas transições. Logo, esses índices parecem ser úteis para propósito de monitoramento já que, a análise dos mesmos, indica a transição de IEC e FEC, também observada na EC de 2006-2007.

Assim, esse trabalho oferece uma nova metodologia para se determinar as pântadas de IEC e FEC relacionados ao SMAS 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), tal campo pode ser mais completo e mais eficiente para tal análise. Logo, a aplicação desse método pode ser estendida para as outras regiões tropicais monçônicas.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fornecimento do auxílio financeiro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GAN, M. A., KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. *J. Climate*, 17, 47-66, 2004.
- HOREL, J. D.; HAHMANN A. N.; GEISLER J. E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. *J. Climate*, 2, 1388-1403, 1989.
- KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Rev. Bras. Meteor.*, 3, 217-231, 1988.
- LIEBMANN, B.; SMITH, C. A. Description of complete (interpolated) outgoing longwave radiation data set. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 1275-1277, 1996.
- MARENGO, J.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V. E.; FILIZOLA, N.; WAINER, I. On the onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. *J. Climate*, 14, 833-852, 2001.
- MURAKAMI, T.; NAKAZAWA, T. Transition from the southern to northern hemisphere summer monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1470-1486, 1985.
- NORTH, G. R.; BELL, T. L.; CAHALAN, R. F.; MOENG, F. J. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 699-706, 1982.
- VEIGA, J.; MARENGO, J.; RAO, V. B. A influência das anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico sobre as chuvas de monção da América do Sul. *Rev. Bras. Meteor.*, 17, 181-194, 2002.