

# OSCILAÇÕES INTRASAZONAIS NOS TRÓPICOS E VARIAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS SOBRE O NORDESTE DO BRASIL EM 1999

Paulo Nobre  
Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE  
Rodovia Presidente Dutra, Km 40, Cachoeira Paulista, SP 12630-000  
e-mail: pnobre@cptec.inpe.br

Anna Bárbara Coutinho de Melo  
Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba  
- LMRS-PB/SEMARH  
Av. Aprígio Veloso, 882 - Campus II UFPB, Campina Grande, PB 58109-970  
e-mail: barbara@lmrs.pb.gov.br

Petrônio Carlos Bezerra  
Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba  
- LMRS-PB/SEMARH  
Av. Aprígio Veloso, 882 - Campus II UFPB, Campina Grande, PB 58109-970  
e-mail: petronio@lmrs.pb.gov.br

## ABSTRACT

This work presents observational evidence that the temporal distribution of rainfall over northeastern Brazil (Nordeste) during January to June 1999 was modulated by planetary scale atmospheric oscillations detected along the tropics over both the Pacific and Atlantic Basins. Eastward propagating pulses of tropical convection reached the tropical Atlantic Ocean with periods ranging from 30 to 60 days. The negative phases of such pulses (associated with subsidence and suppression of rainfall) reached the Nordeste during the peak of the rainy season over the area, contributing to reducing the total seasonal rainfall totals substantially. The analyses also suggest that the intertropical and south Atlantic convergence zones may have interacted on intra-seasonal time scales for modulating the observed rainfall distribution patterns observed over the region.

## INTRODUÇÃO

A marcante variabilidade interanual da pluviometria sobre a Região Nordeste do Brasil (Nordeste) é um dos principais fatores para a ocorrência das assim chamadas “secas” sobre a região, as quais são caracterizadas por acentuada redução do total pluviométrico sazonal durante o período de fevereiro a maio. A variabilidade interanual da pluviometria sobre o Nordeste está associada a variações de padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, os quais afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico, modulando assim a pluviometria sobre o norte do Nordeste (Hastenrath e Heller, 1977; Hastenrath, 1984; Moura e Shukla, 1981).

Embora a ocorrência de “seca” assim definida esteja associada a grandes movimentações sociais, de recursos financeiros e da economia do Nordeste (Magalhães e Glantz, 1992), é de fato a variabilidade espacial e temporal das chuvas nas escalas de tempo intrasazonal que atingem as sociedades de forma mais significativa. Um ano no qual os totais pluviométricos sobre uma região tenham sido em torno da média climatológica pode ainda assim representar um ano de dificuldades para a agricultura, por exemplo, se durante o período chuvoso como um todo ocorreram um ou mais períodos prolongados de estiagem. Assim, não somente os totais pluviométricos, mas também e principalmente a variabilidade intrasazonal destes é de extrema relevância para o bem estar social e econômico da Região.

Do ponto de vista meteorológico, uma condição de seca é caracterizada por acentuada redução dos totais pluviométricos anuais da região; uma “grande seca” ocorre quando os totais anuais de chuvas não atingem 50% das normais climatológicas para uma fração significativa (a metade) da área semi-árida do Nordeste. No entanto, mesmo em anos nos quais os totais pluviométricos anuais são próximos da média histórica, a distribuição temporal

das chuvas durante o período da quadra chuvosa pode caracterizar uma condição de “seca hidrológica”, na qual os totais pluviométricos sazonais são bem distribuídos temporalmente e causam pouco escoamento superficial; ou uma “seca verde”, nas quais períodos de estiagem se intercalam com episódios de precipitações mais intensas. Assim, para se caracterizar a qualidade da quadra chuvosa, de forma a contemplar um leque maior de condições hidro-meteorológicas que afetam as atividades econômicas da Região de maneira significativa, há que se considerar não somente os totais sazonais de chuvas mas também e principalmente a variabilidade temporal destas em escalas de tempo intrasazonal.

Dentre os fenômenos atmosféricos que afetam a variabilidade intrasazonal das chuvas sobre o Nordeste estão sistemas transientes como oscilações de 30-60 dias (Weickmann et al., 1985), vórtices ciclônicos de ar superior e distúrbios ondulatórios de leste (Goswami e Mathew, 1994). Tais fenômenos contribuem para modular a distribuição temporal da pluviometria sobre a região, ocasionando períodos de estiagem intercalados por ocorrências de precipitações mais abundantes. Além disso, a ZCIT, cujo posicionamento latitudinal guarda estreita relação com o gradiente meridional de TSM sobre o Atlântico Tropical (Moura e Shukla, 1981) e Pacífico Equatorial (Mechoso et al., 1990), também parece apresentar flutuações nas escalas de tempo intrasazonal.

A periodicidade dos episódios secos e chuvosos, observada sobre o Nordeste durante o primeiro semestre de 1999, sugere que estes possam ter sido modulados pela atuação de oscilações de 30-60 dias, também conhecidas por oscilação de Madden-Julian (Madden e Julian, 1972). Trata-se de um fenômeno de escala global, definido como uma onda número 1 (um cavado e uma crista em volta do globo) que se propaga para leste ao longo da faixa equatorial com periodicidade entre 30 e 60 dias (Weickmann e Khalsa, 1990; Kousky e Kayano, 1994).

O foco deste trabalho é analisar a variabilidade intrasazonal das circulações atmosféricas globais durante o período de janeiro a julho de 1999, quando se observou a ocorrência de períodos chuvosos intercalados com períodos secos sobre o Nordeste.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho são os campos diários das componentes zonal ( $u$ ) e meridional ( $v$ ) do vento em 7 níveis na vertical, obtidos das reanálises do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) em pontos de grade regular de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  para o período de 1980 a 1996; análises diárias de  $u$  e  $v$  para janeiro a julho de 1999 na faixa longitudinal de  $120^\circ\text{W}$  a Greenwich, provenientes de análises operacionais diárias do NCEP; campos diários de Radiação de Onda Longa ( $rol$ ) no período de 1974 a 1999 também são provenientes do NCEP.

Inicialmente foram geradas médias de longo período para os valores diários de  $u$ ,  $v$  e  $rol$ . Tais médias foram calculadas como as médias aritméticas dos valores de  $u$ ,  $v$ , e  $rol$  em cada ponto de grade para cada dia do ano:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{i,j} \quad i = 1, 366; \quad j = 1, N \quad (1)$$

onde  $X_{i,j}$  é uma grade 144 por 73 (longitudes, latitudes) para o dia “i” e para o ano “j”;  $\bar{X}_i$  são os valores médios de  $X$  (i.e.,  $rol$ ,  $u$ ,  $v$ ) em cada ponto de grade para o dia “i”;  $N$  é o número de anos utilizados. Em seguida, foram calculadas as médias móveis de 5 dias centradas no tempo para cada dia do ano segundo a expressão:

$$\overline{Xm}_i = \frac{1}{5} \sum_{k=i-2}^{i+2} \bar{X}_k \quad i = 1, 366; \quad (2)$$

onde  $\overline{Xm}_i$  é a média móvel de  $\bar{X}_i$  para cada dia “i” do ano como definido acima. Séries temporais dos valores climatológicos de  $u$ ,  $v$ , e  $rol$  como calculados pela equação (2) são mostrados na Figura 1 para uma média na área de  $4^\circ \times 4^\circ$  graus de latitude e longitude em torno da posição  $0^\circ\text{N}$ ,  $23^\circ\text{W}$ , sobre o Atlântico Equatorial, e discutidos na sessão de resultados.

As séries temporais dos campos de anomalias diárias (i.e.,  $Xa_{i,j}$ ) das variáveis estudadas foram calculadas como a diferença:

$$Xa_{i,j} = X_{i,j} - \overline{Xm_i}, \quad i = 1, 366 \quad j = 1, N \quad (3)$$

Os períodos secos (i.e., aqueles com estiagens prolongadas) e chuvosos sobre o Nordeste foram determinados a partir da análise da série temporal da precipitação média diária na área compreendida entre as longitudes 44°W e 34°W e latitudes 12°S e 2°S (Figura 2). Tais períodos (listados na Tabela 1) foram utilizados para elaborar os campos compostos de anomalias de *rol* e ventos discutidos na sessão de resultados.

MESES	PERÍODOS (dias)	
	SECOS	CHUVOSOS
JANEIRO	1 - 6, 12 - 31	7 - 11
FEVEREIRO	1 - 19	20 - 28
MARÇO	23 - 30	1 - 8, 12 - 22
ABRIL	1 - 11, 15 - 28	-
MAIO	19 - 31	1 - 18
JUNHO	1 - 30	-
JULHO	1 - 15, 21 - 31	16 - 20

Tabela 1 – Períodos de dias classificados como “secos” e “chuvosos” para a média espacial da pluviometria observada entre os paralelos 12°S e 2°S e os meridianos 44°W e 34°W, sobre o Nordeste.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a evolução temporal dos valores climatológicos diários (média móvel de cinco dias) de *rol*, *u* e *v* sobre o Atlântico Equatorial. É notável a lenta diminuição dos valores climatológicos de *rol* (Figura 1a) entre julho e abril e o acentuado aumento entre maio e junho. Tal variação temporal é consistente com a hipótese (Mitchell e Wallace, 1992) de que o brusco desaparecimento da ZCIT em latitudes próximas ao equador e seu

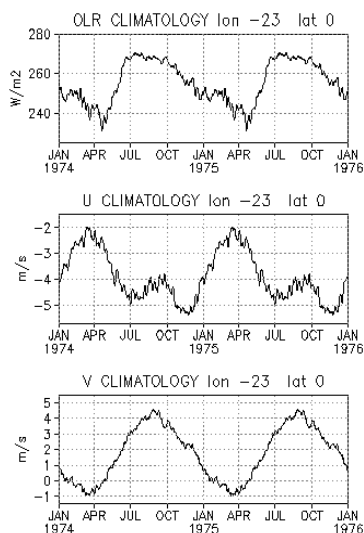


Figura 1 – Série temporal dos valores climatológicos diários, médias para a área de 25°W a 21°W e 2°S a 2°N para: (topo) radiação de onda longa emitida para o espaço ( $W/m^2$ ) e componentes (meio) zonal e (base) meridional do vento em 1000 hPa (m/s).

reaparecimento em latitudes mais ao norte do Hemisfério Norte está associado ao resfriamento das TSM por ressurgência equatorial resultante do aumento climatológico dos ventos alísios durante maio/junho. Também é evidente, nesta figura, a maior variabilidade temporal de alta frequência dos valores climatológicos de *rol* durante dezembro a abril, relativamente ao período restante do ciclo anual. Os demais painéis da Figura 1 mostram a evolução climatológica diária de *u* (Figura 1b) e *v* (Figura 1c) em 1000 hPa, onde se constata a variabilidade de alta frequência superimposta à variação sazonal de baixa frequência dos ventos e a intensificação dos alísios de sudeste entre abril e julho.

A partir da inspeção da série temporal das precipitações pluviométricas médias sobre o norte do Nordeste (Figura 2), constatou-se que os períodos relativamente mais secos ocorreram durante abril e junho, e os mais chuvosos durante março e maio. Foram calculadas, então, campos compostos das anomalias diárias de *rol*, *u* e *v* para os períodos secos e chuvosos (figuras não mostradas), discriminados na Tabela 1.

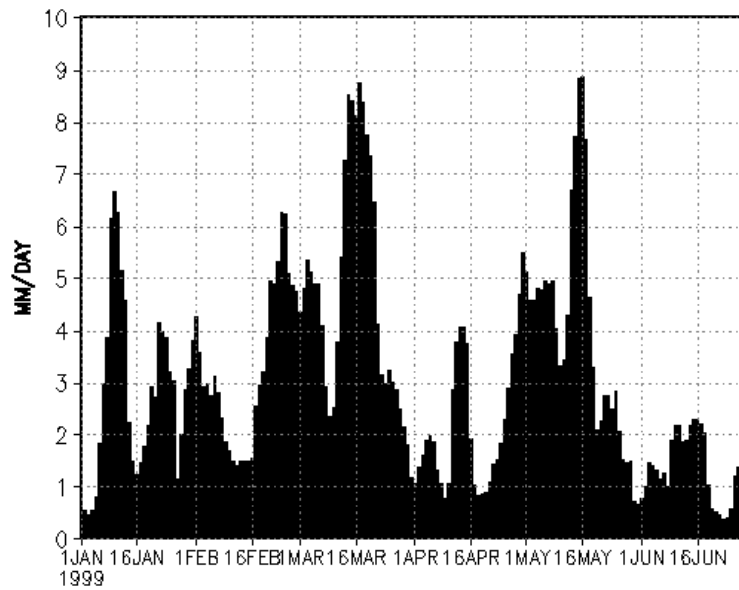


Figura 2 – Pluviometria diária observada (mm/dia) média na área ( $44^{\circ}\text{W}$ - $34^{\circ}\text{W}$ ,  $12^{\circ}\text{S}$ - $2^{\circ}\text{S}$ ), sobre o Nordeste para o período de janeiro a julho de 1999. Fonte dos dados: INMET.

Na Figura 3, é mostrado o campo da diferença entre o composto das anomalias de *rol* para os períodos chuvosos menos o composto das anomalias de *rol* para os períodos secos (como definidos na Tabela 1). É notável no padrão de diferença de anomalias de *rol* mostrado na Figura 3 as projeções para leste das anomalias negativas de *rol* sobre o Atlântico Equatorial e Sudoeste, sugerindo a possibilidade da atuação conjunta da ZCIT e da ZCAS à altura do litoral da Bahia na modulação da variabilidade intrasazonal observada sobre o Nordeste. Os valores negativos de anomalias de *rol* aparentes sobre o Nordeste na Figura 3 são resultantes da expansão das anomalias negativas de *rol* predominantes sobre a Amazônia no composto chuvoso para leste relativo ao composto seco (figuras não mostradas). Também notável são os valores positivos de *rol* sobre o sul da Bahia e norte de Minas Gerais, indicando um provável deslocamento para norte/sul da ZCAS durante os períodos chuvosos/secos sobre o norte do Nordeste.

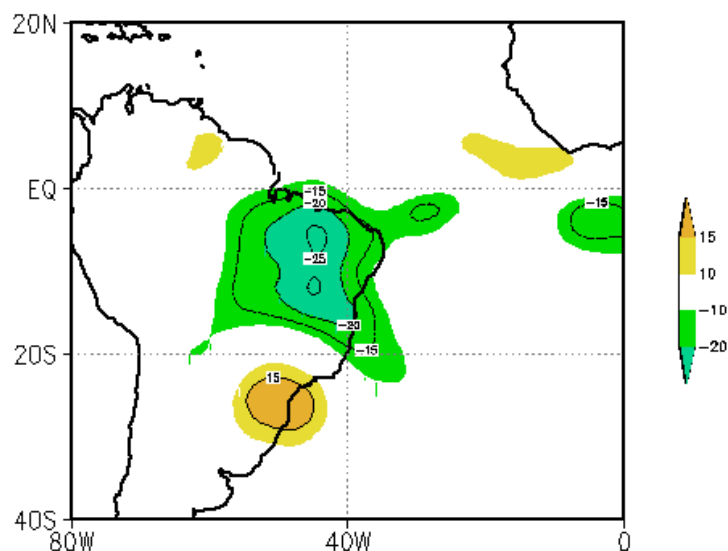


Figura 3 – Campos das diferenças entre compostos chuvosos e secos de anomalias de *rol*, conforme discriminados na Tabela 1. Intervalos entre os contornos é  $10 \text{ Wm}^{-2}$ . Valores absolutos das diferenças de *rol* maiores do que  $10 \text{ Wm}^{-2}$  são sombreados.

Os campos de diferenças entre os compostos chuvoso e seco para linhas de corrente e divergência horizontal do vento em 850 hPa e 250 hPa (Figura 4) mostram que durante os períodos mais chuvosos o escoamento sobre o Nordeste foi predominantemente de norte e convergente em 850 hPa, enquanto em 250 hPa se estabeleceu uma crista com escoamento divergente; favorecendo, assim, movimento vertical ascendente e ocorrência de convecção profunda, esta última evidenciada pelas anomalias negativas de *rol* mostradas na Figura 3. No conjunto, as Figuras 3 e 4 mostram que o posicionamento da ZCIT mais ao sul (norte) e o posicionamento da ZCAS mais ao norte (sul) relativamente às suas posições climatológicas, com escoamento anormalmente convergente (divergente) em baixos níveis e divergente (convergente) em altos níveis da troposfera sobre o Nordeste está associado à ocorrência de aumento (diminuição) dos totais pluviométricos sobre o Nordeste, mesmo em escalas de tempo intrasazonais.

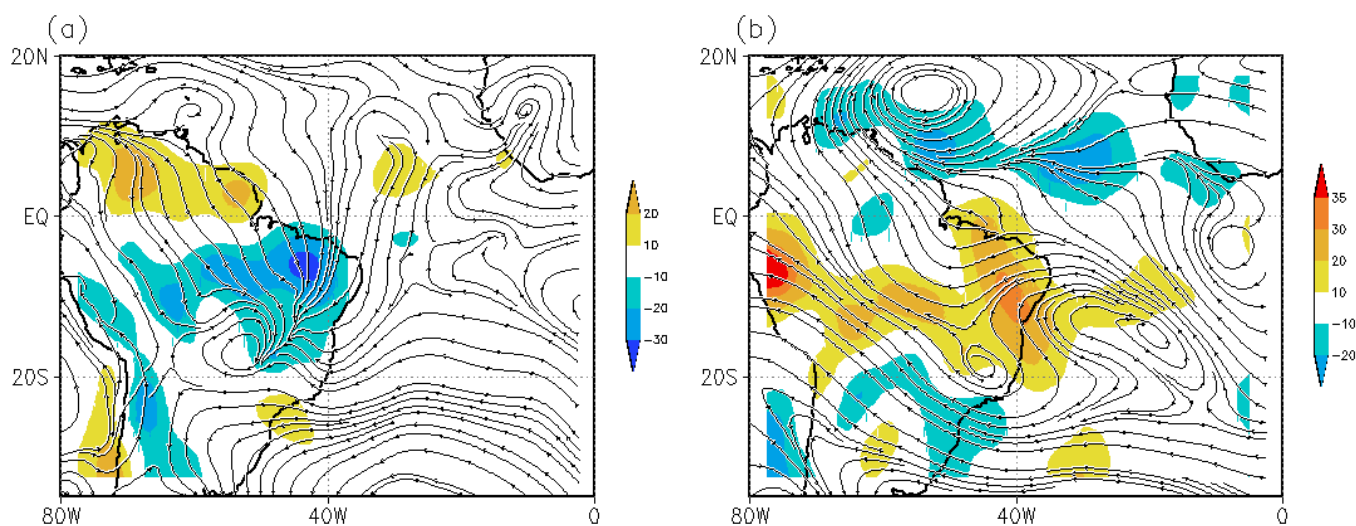


Figura 4 – Campo das diferenças entre os compostos chuvoso menos seco das anomalias de vento (linhas de corrente) e divergência horizontal do vento (áreas coloridas) em (a) 850 hPa e (b) 250 hPa. Intervalo entre isolinhas de divergência é  $10 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$ .

Embora a análise das Figuras 3 e 4 permita revelar com clareza os contrastes de circulação e, indiretamente, precipitação sobre a área de estudo durante o período de fevereiro a junho de 1999, impossibilita inferir a possível atuação de fenômenos transientes durante aquele período sobre a região. Tal inferência, contudo, pode ser feita a partir da análise da evolução temporal das anomalias de *rol* média para a faixa de latitudes 10°S e o equador ao longo de todo o cinturão tropical, mostradas na Figura 5. Estas anomalias sugerem um caráter propagatório para leste de pulsos de atividade convectiva nas latitudes subtropicais do Oceano Pacífico, América do Sul e Atlântico. É notável a variação temporal, com intervalos de aproximadamente 30 dias, entre um máximo e um mínimo de anomalias de *rol* sobre as longitudes a leste de 60°W. Ainda nesta figura, é sugestivo o caráter propagatório das anomalias de *rol*, com dois pulsos negativos que se propagam para leste desde a longitude 0°W até aproximadamente 160°E e com suas aparentes manifestações sobre a América do Sul em final de fevereiro/início de março e final de abril/início de maio, coincidentes com os períodos chuvosos sobre o Nordeste (Figura 2). Em conjunto, as Figuras 2 e 5 sugerem que a variabilidade temporal das chuvas sobre o Nordeste durante o período de janeiro a junho esteve associada à oscilações atmosféricas de grande escala tais como as oscilações de Madden e Julian com atividade sobre o continente sul-americano.

A análise dos campos de TSM (figuras não mostradas) evidenciou um padrão de neutralidade no que diz respeito ao gradiente meridional de anomalias de TSM até meados de março de 1999. No início de abril, os padrões de TSM tornaram-se mais favoráveis à ocorrência de chuvas no norte do NEB, com anomalias positivas adjacente à costa sudoeste da África e em áreas do Atlântico Equatorial e anomalias negativas adjacente ao norte da África. Nos meses subsequentes, a configuração de anomalias de TSM apresentou valores predominantemente positivos no Atlântico Sul e negativos em áreas do Atlântico Norte.

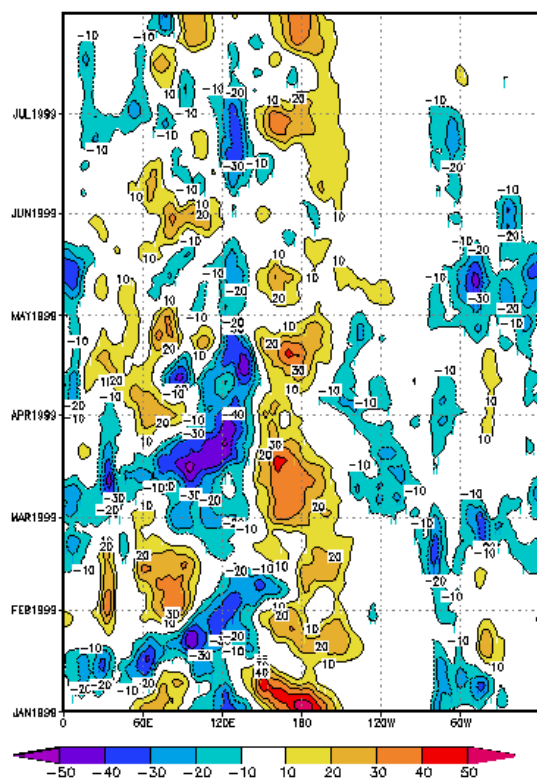


Figura 5 – Evolução temporal das anomalias de *rol* ao longo do equador, médias móveis de 10 dias, média sobre a faixa de latitudes 10°S - 0°N. Anomalias inferiores a -10 Wm<sup>2</sup> e superiores a 10 Wm<sup>2</sup> são sombreadas conforme barra de cores no pé da figura.

## CONCLUSÕES

O período chuvoso de janeiro a julho de 1999 foi bastante variável no tocante à distribuição temporal das chuvas no setor norte do Nordeste. Identificou-se uma aparente periodicidade na ocorrência de precipitações pluviométricas sobre o Nordeste, com períodos que oscilaram entre 30 e 45 dias. As análises da evolução temporal dos campos de *rol* e escoamento em altos níveis corroboraram com a hipótese de que as interrupções dos períodos chuvosos durante os meses de março a junho de 1999 tenham sido causadas, em parte, pela atuação de oscilações de 30-60 dias.

A variabilidade temporal da pluviometria, no tocante à periodicidade de episódios secos e chuvosos sobre o setor norte do Nordeste, apresentou estreita relação com as oscilações atmosféricas de grande escala na bacia do Oceano Pacífico e Atlântico. As fases desfavoráveis destas oscilações intrasazonais coincidiram com os meses climatologicamente mais chuvosos sobre o Nordeste, contribuindo para reduzir os totais pluviométricos sazonais tanto das regiões semi-áridas quanto nas regiões do Agreste e Zona da Mata do Nordeste durante a estação chuvosa de 1999.

Os resultados deste trabalho sugerem que o monitoramento e previsão das oscilações de 30-60 dias pode contribuir para aprimorar a qualidade de previsões climáticas sobre o Nordeste, ao resolver fenômenos atmosféricos em escalas de tempo intrasazonais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Goswami, P., e V. Mathew, 1994: A mechanism of scale selection in tropical circulation at observed intraseasonal frequencies. *J. Atmos. Sci.*, **51**, 3155-3166.

- Hastenrath, S., 1984: Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1097-1107.
- Hastenrath, S., e L. Heller, 1977: Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, **110**, 411-425.
- Kousky, V. E., e M. T. Kayano, 1994: Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. *J. Climate*, **7**, 1131-1143.
- Madden, R., e P. R. Julian, 1972: Description of global scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. *J. Atmos. Sci.*, **29**, 1109-1123.
- Magalhães, A. R., e M. H. Glantz, 1992: *Socioeconomic impacts of climate variations and policy responses in Brazil*, United Nations Environment Program (UNEP), Secretariat for Planning and Coordination State of Ceara (SEPLAN), Esquel Brasil Foundation, 155 pp.
- Mechoso, C. R., S. W. Lyons, e J. A. Spahr, 1990: The impact of sea surface temperature anomalies on the rainfall over Northeast Brazil. *J. Climate*, **3**, 812-826.
- Mitchell, T. P., e J. M. Wallace, 1992: On the annual cycle in equatorial convection and sea-surface temperature. *J. Climate*, **5**, 1140-1156.
- Moura, A. D., e J. Shukla, 1981: On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci.*, **38**, 2653-2675.
- Weickmann, K. M., e J. S. Khalsa, 1990: The Shift of Convection from the Indian Ocean to the Western Pacific Ocean during a 30-60 Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 964-.
- Weickmann, K. M., G. R. Lussy, e J. E. Kutzbach, 1985: Intraseasonal (30-60 day) fluctuations of outgoing longwave radiation and 250 mb streamfunction during northern winter. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 941-961.