

MODOS DE VARIABILIDADE SUBSAZONAL ASSOCIADOS À ZCAS

Felipe M. de Andrade¹, José A. Aravéquia², Edilson Marton³

^{1,2} Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Rodovia Presidente Dutra, km 40, CEP: 12630-000, Cachoeira Paulista – SP, ¹e-mail: felipe.marques@cptec.inpe.br

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Departamento de Meteorologia - Instituto de Geociências - Ilha do Fundão - Cidade Universitária, CEP: 21949-900, Rio de Janeiro - RJ

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo identificar as principais características e os sinais precursores dos modos dominantes de variabilidade subsazonal associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), além de investigar a influência direta da Oscilação de Madden-Julian no processo de formação destes eventos utilizando informações de seu índice diário multivariado descrito em Wheeler e Hendon (2004). Uma análise de função ortogonal empírica das anomalias diárias subsazonais de Radiação de Onda Longa Emergente é utilizada para identificação dos modos dominantes de variabilidade, sendo o primeiro (segundo) modo representativo de oscilações sobre o centro-leste do Brasil (a posição climatológica da ZCAS).

ABSTRACT: This work has as objective to identify main features and precursor signals of the dominant modes of subseasonal variability associated with South Atlantic Convergence Zone (SACZ), besides to investigate of the development process of these events from direct influence of the Madden-Julian Oscillation using its multivariate daily index informations described in Wheeler and Hendon (2004). An empirical orthogonal function analysis of Outgoing Longwave Radiation subseasonal daily anomalies is used to identify the dominant modes of variability, whereas the first (second) mode represents oscillations over Central-East Brazil (SACZ climatological position).

1 - INTRODUÇÃO

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é responsável por grande parte dos acumulados de precipitação sobre a América do Sul (AS) tropical e Atlântico Sul adjacente. Sua variabilidade é articulada pela ação conjunta de mecanismos físicos que se manifestam em distintas escalas de tempo e espaço, conferindo certo grau de complexidade no assunto. No contexto subsazonal, representado por oscilações com periodicidade compreendida entre 10 e 90 dias, destaca-se geralmente o efeito combinado da Oscilação de Madden-Julian (OMJ) e das oscilações submensais no processo de modulação da ZCAS. Contudo, o comportamento da ZCAS pode variar de um evento para o outro em função do “Background subsazonal”, sobretudo no que se compete a localização geográfica, a persistência e a intensidade dos eventos (Carvalho et al., 2004). Sendo assim, o objetivo deste estudo é identificar as principais características e os sinais precursores dos modos de variabilidade subsazonal associados à ZCAS, além de investigar a influência da OMJ no processo de formação destes eventos.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

Os dados diários de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) no topo da atmosfera foram utilizados para representação da atividade convectiva na atmosfera tropical, sendo provenientes da NOAA. Os dados de ROLE estão contidos no período que se estende desde janeiro de 1980 até dezembro de 2009 e apresentam uma resolução horizontal de 2.5°. As anomalias diárias de ROLE (AROLE) foram calculadas subtraindo-se os valores climatológicos, representativos de cada dia do ano, dos respectivos valores diários de ROLE e, posteriormente, foram filtradas na escala de tempo de 10-90 dias com um filtro passa-banda de Lanczos contendo 245 pesos. A estação chuvosa de novembro a março (verão estendido) foi separada a partir dos dados filtrados, obtendo-se uma série temporal diária de AROLE filtrada para cada ponto de grade do domínio global, contendo os 29 verões estendidos compreendidos entre 1980 e 2009. A identificação dos modos dominantes de variabilidade subsazonal sobre a AS, durante os 29 verões estendidos, foi realizada através de uma análise de função ortogonal empírica (FOE) não-rotacionada da matriz de correlação dos dados diários filtrados de AROLE, usando um domínio de 40°S-10°N/80°W-10°W. Os dois primeiros modos de FOE podem ser interpretados como mecanismos físicos independentes e não-degenerados (North et al., 1982), sendo representativos de oscilações sobre a ZCAS e regiões adjacentes. Para verificar as possíveis relações lineares associadas ao desenvolvimento dos modos dominantes de FOE, as correspondentes séries temporais das componentes principais (CP) normalizadas foram utilizadas para o cálculo de regressão linear com as séries temporais filtradas de AROLE em cada ponto de grade do globo ao longo dos 29 verões estendidos. O monitoramento e a influência da OMJ sobre a AS são avaliados através da utilização de seu Índice Diário Multivariado (IDM) (<http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RMM/>), obtido através do cálculo dos dois primeiros modos de FOE não-rotacionada dos campos combinados das anomalias diárias do vento zonal (850 hPa e 200 hPa) e de ROLE, mediados aproximadamente na região equatorial ao longo de todo o cinturão longitudinal. Segundo Wheeler e Hendon (2004), a projeção destas anomalias diárias nos dois modos de FOE combinada, com o ciclo anual e as componentes interanuais removidas, produz as séries temporais das respectivas CP normalizadas, variando principalmente na escala de tempo da OMJ. Esta projeção serve como um filtro efetivo para a OMJ, sem a necessidade de filtragem convencional. A amplitude do par de CP forma o IDM e indica o grau de atividade da OMJ em tempo real para uma determinada fase de manifestação associada ao deslocamento tropical da convecção.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – *Os modos dominantes de variabilidade subsazonal sobre a AS*

A Fig. 3.1 apresenta para o setor da AS os dois modos dominantes de variabilidade subsazonal da AROLE diária e filtrada obtidos pela análise de FOE não-rotacionada para o verão austral. O

primeiro modo de FOE, que explica 22,2% da variância total dos dados, é caracterizado por um dipólo de atividade convectiva entre o centro-leste do Brasil e o sul do Brasil/Paraguai, representando episódios de ZCAS deslocados para o norte da própria posição climatológica (Fig. 3.1(a)). O segundo padrão de FOE explica 15,3% da variância total dos dados e apresenta um sinal mais intenso sobre a posição climatológica da ZCAS, especialmente no setor oceânico (Fig. 3.1(b)) (Carvalho et al., 2004). A posição climatológica da ZCAS, ilustrada pela linha diagonal vermelha na Fig. 3.1, foi identificada através do campo climatológico mensal de ROLE para a média do período de novembro a março (não mostrado).

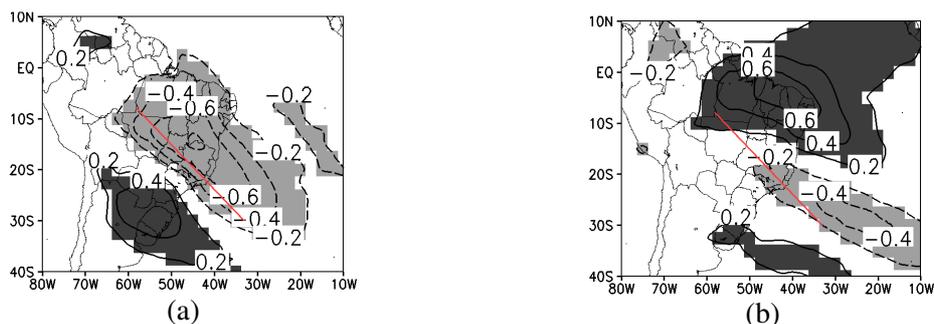


Figura 3.1 - (a) Primeiro modo de FOE da variabilidade subsazonal diária da AROLE sobre a AS para o período de novembro a março; (b) idem ao item (a), exceto para o segundo modo de FOE. A linha diagonal vermelha representa a posição climatológica da ZCAS.

3.2 – *Sinais precursores associados à variabilidade da ZCAS*

A identificação de sinais subsazonais precursores pode auxiliar no prognóstico de um determinado comportamento da ZCAS. A Fig. 3.2 ilustra os mapas de regressão linear com defasagem temporal de -10 dias (lag -10) entre a AROLE filtrada e as respectivas séries temporais das CP dos modos de FOE investigados. As linhas diagonais vermelhas representam as posições climatológicas da ZCAS, da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e da Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS). Estas posições climatológicas foram identificadas de acordo com o método descrito na subseção 3.1. Para a regressão linear entre AROLE filtrada e a primeira CP (Fig. 3.2(a)), verifica-se que 10 dias antes do estabelecimento do primeiro modo de FOE sobre a AS tropical, existe um aumento de convecção sobre a posição climatológica da ZCPS, além de redução de convecção sobre a ZCIS e a ZCAS. O aumento de convecção na porção subtropical da ZCPS contribui para estimular anomalias de circulação ciclônica sobre o sudeste do Brasil através da dispersão de um trem de ondas de Rossby forçado pela divergência anômala em altos níveis da troposfera (Grimm e Silva Dias, 1995). De acordo com Grimm e Silva Dias (1995), a conexão ZCPS-ZCAS ocorre em uma defasagem temporal de aproximadamente 10 dias. Sobre as regiões da ZCIS, Índico e Pacífico oeste, o mapa de regressão linear da AROLE filtrada com a segunda CP (Fig. 3.2(b)) mostra um comportamento convectivo oposto ao apresentado pela Fig. 3.2(a), salvo apenas por um fraco sinal de AROLE negativa nas proximidades da porção subtropical da ZCPS e da inibição convectiva sobre a

ZCAS. O sinal de convecção relativamente fraco no Pacífico Sul central não parece conectado ao deslocamento da convecção equatorial, diferentemente do apresentado no mapa de regressão com a primeira CP. Estes resultados sugerem a possibilidade de que fases opostas da OMJ precedam a modulação de distintos comportamentos da atividade convectiva sobre a ZCAS.

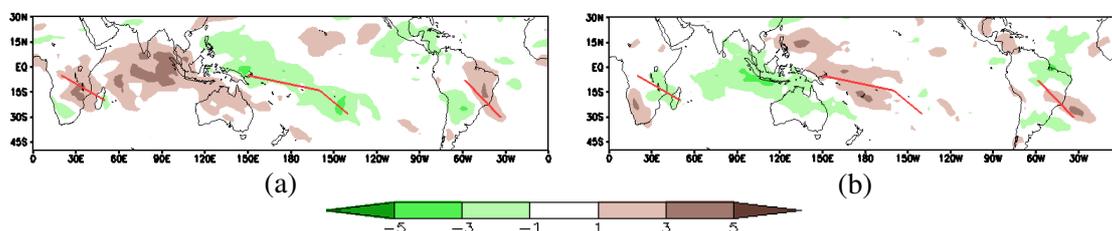


Figura 3.2 - Regressão linear defasada no tempo (lag -10 dias) entre a AROLE filtrada em 10-90 dias e: (a) a primeira CP; (b) a segunda CP. As linhas diagonais vermelhas ilustram as posições climatológicas da ZCAS, ZCPS e ZCIS.

3.3 – *Influência direta da Oscilação de Madden-Julian*

A influência da OMJ no comportamento subsazonal da ZCAS é investigada através das informações do IDM, verificando se existe alguma fase desta oscilação que preferencialmente modula o desenvolvimento de cada um dos dois modos de FOE investigados. Os “dias subsazonais” associados a cada modo de FOE foram selecionados quando as respectivas CP foram maiores do que o limiar de 1 desvio padrão, sendo cada dia considerado como um evento independente. A Tabela 3.1 mostra a probabilidade de ocorrência diária (p) de ambos os modos de FOE em função de uma determinada fase da OMJ. Uma probabilidade não condicional (n), considerando a ocorrência de um evento subsazonal nas categorias CP1+ (amplitude positiva da CP1) e CP2+ (amplitude positiva da CP2) em um dia aleatoriamente escolhido, é calculada como $p=n/N$, onde n representa o número total de eventos subsazonais (ou “dias subsazonais”) registrados em cada categoria e $N=4386$ é o número total de dias ao longo dos 29 verões estendidos. Quando a OMJ não está presente ou está fraca ($IDM < 1$), a probabilidade diária do desenvolvimento de um evento subsazonal é maior (menor) do que o valor não condicional para a categoria CP1+ (CP2+). Isto demonstra a importância dos modos submensais na modulação de eventos de ZCAS sem a presença da OMJ, especialmente para categoria CP1+ que apresenta uma probabilidade significativa ao nível de 95% de confiança. Por outro lado, quando a OMJ está presente, a probabilidade diária do desenvolvimento de um evento CP1+ (CP2+) é significativamente elevada durante a ocorrência das fases 1, 2 e 8 (4, 5 e 6) da OMJ. As fases 3, 4, 5 e 6 (1, 2 e 8) contribuem para inibição de eventos CP1+ (CP2+) ao nível de 95% de confiança. A significância estatística é calculada como em Matthews (2012). De uma maneira geral, estas informações indicam que fases opostas da OMJ têm um papel importante no processo de desenvolvimento da variabilidade subsazonal associada a distintas configurações espaciais da ZCAS, concordando com os sinais precursores observados nos campos de regressão linear e contribuindo para a aplicação de técnicas de monitoramento da variabilidade intrassazonal que auxiliaria nos prognósticos de eventos de ZCAS durante o verão austral.

Tabela 3.1 – Modulação de eventos subsazonais sobre a AS pela OMJ. O número de dias e o número de eventos em cada categoria, associados a uma determinada fase da OMJ, são **N** e **n**, respectivamente. Se a probabilidade **p** da ocorrência diária de um determinado evento é elevada e significativa ao nível de 95% de confiança, isto é mostrado em negrito, se é baixa e significativa, isto é mostrado em verde. Nas figuras representativas das 8 fases da OMJ, o sombreado em vermelho (azul) indica redução (aumento) de convecção (Matthews, 2012).

p=n/N	N	CP1+ n (p)	CP2+ n (p)
Todos os dias (nc)	4386	703 (16%)	714 (16.3%)
IDM < 1	1548	279 (18%)	225 (14.5%)
1 	289	75 (26%)	26 (9%)
2 	363	74 (20.4%)	45 (12.4%)
3 	422	33 (7.8%)	64 (15.2%)
4 	337	19 (5.6%)	69 (20.5%)
5 	322	15 (4.7%)	94 (29.2%)
6 	364	34 (9.3%)	75 (20.6%)
7 	399	68 (17%)	79 (19.8%)
8 	342	106 (31%)	37 (10.8%)

4 – CONCLUSÕES

Os modos dominantes de variabilidade subsazonal da AROLE diária e filtrada sobre o setor da AS mostraram configurações espaciais de ZCAS distintas, sendo o primeiro modo representativo de eventos deslocados para o norte da própria posição climatológica, enquanto o segundo modo representativo de eventos intensificados sobre a posição climatológica/oceânica da ZCAS. Os sinais precursoros indicaram convecção anômala na região da ZCPS cerca de 10 dias antes da configuração de um evento de ZCAS deslocado para o norte de sua climatologia. Em contrapartida, 10 dias antes do estabelecimento da ZCAS oceânica, verificou-se um fraco sinal convectivo sobre o Pacífico Sul central, aparentemente sem conexão com o deslocamento equatorial da convecção. A influência direta da OMJ foi avaliada através das informações do IDM, onde se observou que fases opostas da OMJ são responsáveis por uma determinada configuração de ZCAS, destacando-se a importância das fases 1, 2 e 8 (4, 5 e 6) no processo de modulação de episódios associados ao primeiro (segundo) modo de variabilidade subsazonal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, L.M.V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **J. Climate**, v.17, p.88-108, 2004.
- GRIMM, A. M.; SILVA DIAS, P. L. Analysis of tropical-extratropical interactions with influence functions of a barotropic model. **J. of the Atm. Sci.**, v.52, p.3538-3555, 1995.
- MATTHEWS, A. J. A multiscale framework for the origin and variability of the South Pacific Convergence Zone. **Q. J. Roy. Meteor. Soc.** 2012.
- NORTH, G. R. e Coautores. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. **Mon. Weather Rev.** 110, 699-706, 1982.
- WHEELER, M.; HENDON, H.H. An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. **Mon. Weather Rev.**, 132, 2004.