IMPACTO DA OSCILAÇÃO DE MADDEN-JULIAN NA VARIABILIDADE DAS FONTES DE ONDAS DE ROSSBY DO HEMISFÉRIO SUL

Felipe M. de Andrade ¹, José A. Aravéquia ²

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

RESUMO: O impacto da Oscilação de Madden-Julian (OMJ) na variabilidade das fontes de ondas de Rossby (S) do hemisfério sul é investigado para o verão austral em um estudo observacional. Composições das anomalias diárias de S são obtidas individualmente para cada fase de manifestação da OMJ seguindo as informações de seu Índice Diário Multivariado (IDM) descrito em Wheeler e Hendon (2004). A contribuição da OMJ é adicionalmente investigada através do IDM, verificando se existe alguma fase desta oscilação que preferencialmente modula o desenvolvimento de extremos positivos das fontes de ondas de Rossby climatológicas do hemisfério sul analisadas por Shimizu (2012).

ABSTRACT: The impact of the Madden-Julian Oscillation (MJO) over Rossby wave sources (S) variability from Southern Hemisphere is investigated for austral summer in an observational study. Daily anomalies composites of S are individually obtained for each MJO's manifestation phase according to its multivariate daily index (MDI) informations described in Wheeler and Hendon (2004). The MJO's contribution is additionally investigated through of MDI, verifying if there is some MJO's phase that preferentially influences the positive extremes development of climatological Rossby wave sources from Southern Hemisphere analyzed by Shimizu (2012).

1 - INTRODUÇÃO

Uma melhoria no potencial de previsibilidade intrassazonal necessita de informações mais detalhadas sobre o ciclo de vida da Oscilação de Madden-Julian (OMJ), especialmente sobre a sua localização (fase) e a sua intensidade (amplitude) em tempo real (Wheeler e Hendon, 2004). Estas informações podem auxiliar nos estudos diretamente relacionados à variabilidade das fontes de ondas de Rossby (doravante também referidas como S) decorrente do deslocamento tropical da OMJ, contribuindo para a correta representação destas variações nos modelos de circulação geral da atmosfera (Shimizu, 2012). Sendo assim, o conhecimento sobre o impacto da OMJ na variabilidade de S torna-se importante para a compreensão dos processos físicos que envolvem a dinâmica da teleconexão entre a atmosfera tropical e a extratropical, fornecendo subsídios para as previsões de tempo estendidas em um cenário global. O objetivo deste estudo observacional é investigar o papel de cada fase da OMJ na variabilidade das fontes de ondas de Rossby do hemisfério sul (HS) através das informações do Índice Diário Multivariado da OMJ (IDM), uma ferramenta usada em tempo real para o monitoramento e prognóstico desta oscilação (Wheeler e Hendon, 2004).

2 – MATERIAL E MÉTODOS

Utiliza-se os dados diários de vento zonal e vento meridional em 200 hPa para representação da circulação atmosférica de grande escala, sendo provenientes das reanálises do NCEP-NCAR. Os dados brutos estão contidos no período que se estende desde janeiro de 1980 até dezembro de 2009 e apresentam uma resolução horizontal de 2.5°. A climatologia de cada variável, para cada um dos 365 dias do ano, é referente ao período de 1980 a 2009 (30 anos). A fonte de ondas de Rossby é obtida através da soma dos 2 termos forçantes do lado direito da equação da vorticidade barotrópica (Shimizu, 2012), os quais são o termo $S1=-\eta D$ e o termo $S2=-\vec{V}_{\gamma}.\nabla\eta$, onde η é a vorticidade absoluta, D a divergência horizontal do vento e \vec{V}_{γ} o vento divergente. Os termos forçantes são calculados a partir dos dados diários de reanálise (bruto e climatologia) e de uma rotina computacional para a solução de equações diferenciais parciais elípticas (http://opengrads.org/doc/udxt/fish/fish.html). O termo S1, referido como "vortex stretching", representa a geração de vorticidade absoluta pela divergência horizontal, enquanto o termo S2 representa a advecção de vorticidade absoluta pelo fluxo divergente. As anomalias diárias de S1 e de S2 foram calculadas subtraindo-se os valores climatológicos, representativos de cada dia do ano, dos respectivos valores diários de S1 e de S2. A estação chuvosa de novembro a março (verão estendido) foi separada a partir das anomalias diárias de S (ANOM_S), obtendo-se uma série temporal diária de ANOM_S para cada ponto de grade do domínio global, contendo os 29 verões estendidos compreendidos entre 1980 e 2009. As anomalias positivas (negativas) de S representam uma intensificação (desintensificação) das fontes de ondas de Rossby (Shimizu, 2012).

O impacto da OMJ na variabilidade de S é avaliado através das informações do IDM (http://cawcr.gov.au/staff/mwheeler/maproom/RMM/), obtido através do cálculo dos dois primeiros modos de função ortogonal empírica (FOE) não-rotacionada dos campos combinados das anomalias diárias do vento zonal (850 hPa e 200 hPa) e de Radiação de Onda Longa Emergente no topo da atmosfera, 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 componentes principais 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 componentes principais 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. Uma fase ativa da OMJ é definida quando a amplitude do IDM for maior do que 1, caso contrário, a OMJ está em uma fase de fraca atividade (Wheeler e Hendon, 2004). A principal característica do IDM é a possibilidade de se obter estas informações em tempo real, auxiliando no prognóstico

da OMJ. O IDM divide em 8 fases consecutivas a propagação para leste da convecção anômala tropical, desde a África até o Pacífico central. Composições de ANOM_S para o HS são obtidas, individualmente, para cada uma das 8 fases de manifestação da OMJ, inclusive a fase de fraca atividade (IDM<1), ao longo dos 29 verões estendidos.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Análises de composições para as fases da OMJ

A Fig. 3.1 mostra para o HS as composições de ANOM_S para os dias registrados em cada uma das 8 fases da OMJ, inclusive a fase de fraca atividade, ao longo dos 29 verões estendidos. As linhas diagonais pretas representam as posições climatológicas da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e da Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS). Estas posições climatológicas foram identificadas através do campo climatológico mensal de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) no topo da atmosfera para a média do período de novembro a março (não mostrado). Os dados de ROLE são provenientes da NOAA e apresentam uma resolução horizontal de 2.5°. A Fig. 3.1(a) ilustra o composto de dias referente à fase 1 da OMJ. Existe um aumento de convecção sobre o norte da América do Sul, África equatorial e porção tropical do Pacífico Sul central. Este cenário convectivo contribui para a modulação de ANOM_S positiva nas porções subtropicais da ZCAS, ZCPS e ZCIS. Nas fases 2 e 3 da OMJ (Figs. 3.1(b) e (c)), a convecção anômala encontra-se sobre o Índico tropical, promovendo a geração de ANOM_S positiva sobre a ZCIS e grande parte da região subtropical do Índico Sul. Durante o deslocamento da convecção anômala sobre a Indonésia nas fases 4 e 5 (Figs. 3.1(d) e (e)), observa-se que os sinais positivos mais intensos de ANOM S concentram-se sobre a Austrália e oeste do Pacífico Sul subtropical. Quando a convecção alcança o oeste do Pacífico equatorial nas fases 6 e 7 (Figs. 3.1(f) e (g)), novas anomalias positivas de S desenvolvem-se sobre a ZCPS e porção oceânica da ZCAS. Na fase 8 (Fig. 3.1(h)), quando existe um aumento da convecção no Pacífico equatorial central ao leste da linha de data, a fonte de ondas de Rossby sobre a ZCAS oceânica é intensificada a medida que os sinais positivos de ANOM_S deslocam-se para leste da ZCPS e intensificam-se sobre a porção subtropical da ZCIS. No composto dos dias sem a presença da OMJ (Fig. 3.1(i)), a localização das anomalias positivas de S parece estar associada ao aumento de convecção sobre a África tropical, Indonésia e América do Sul tropical (não mostrado), estruturas de convecção climatologicamente observadas durante o verão austral. De uma maneira geral, as configurações espaciais da variabilidade de S, estratificadas pelas distintas fases da OMJ, mostraram que a localização das ANOM_S está diretamente relacionada ao deslocamento tropical da convecção anômala, sendo a advecção de vorticidade absoluta pelo fluxo divergente um dos mecanismos físicos responsáveis por esta variabilidade (Shimizu, 2012).

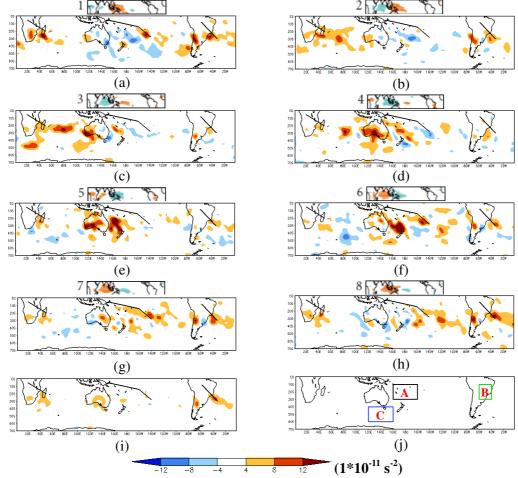


Figura 3.1 – Composições de ANOM_S durante o verão austral para os dias registrados nas seguintes fases da OMJ: (a) 1; (b) 2; (c) 3; (d) 4; (e) 5; (f) 6; (g) 7; (h) 8; (i) IDM < 1. As linhas diagonais pretas ilustram as posições climatológicas da ZCAS, ZCPS e ZCIS. As figuras diminutas enumeradas na parte superior de (a) a (h) ilustram as respectivas fases da OMJ associadas ao deslocamento tropical da convecção (inibição) anômala, representada pelo sombreado em azul (vermelho). A Fig. (j) destaca a localização das áreas das fontes de ondas de Rossby climatológicas do HS analisadas por Shimizu (2012).

3.2 – <u>Eventos extremos de fonte de ondas de Rossby e relações com a OMJ</u>

A contribuição da OMJ é adicionalmente investigada através do IDM, verificando se existe alguma fase desta oscilação que preferencialmente modula o desenvolvimento de extremos positivos das fontes de ondas de Rossby climatológicas do HS analisadas por Shimizu (2012) (Fig. 3.1(j)). Os "dias extremos" foram selecionados quando a ANOM_S esteve acima do terceiro quartil de sua distribuição diária em cada uma das 3 áreas de estudo (A, B e C), sendo cada dia extremo representativo de um evento independente. A Tabela 3.1 mostra a probabilidade de ocorrência diária (p) de "dias extremos" para as 3 áreas de estudo em função de uma determinada fase da OMJ. Uma probabilidade não condicional (nc), considerando a ocorrência de um evento extremo em um dia aleatoriamente escolhido, é calculada como p=n/N, onde n representa o número total de eventos (ou "dias extremos") registrados em cada uma das 3 áreas 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 extremo não é significativamente diferente de **nc** para as áreas B e C, enquanto para a Área A esta probabilidade é significativamente reduzida. Por outro lado, quando a OMJ está presente, a probabilidade diária do desenvolvimento de um evento extremo é significativamente elevada durante as fases 5, 6 e 7 da OMJ para a área A, 1 para a área B, e 4, 5 e 6 para a área C. As fases 1 e 2 contribuem para inibição de eventos extremos positivos na área A, enquanto as fases 4 e 6 (1, 2 e 8) para a área B (área C) ao nível de 95% de confiança. A significância estatística é calculada como em Matthews (2012).

Tabela 3.1 – Modulação de eventos extremos positivos de S em 3 áreas do HS pela OMJ. O número de dias e o número de eventos em cada área, 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.

p=n/N		A	В	С
	N	n (p)	n (p)	n (p)
Todos os dias (nc)	4386	1061(24.2%)	1095 (25%)	1099 (25%)
IDM < 1	1548	340 (22%)	408 (26.4%)	398 (25.7%)
1	289	37 (12.8%)	91 (31.5%)	47 (16.3%)
2	363	32 (8.8%)	91 (25.1%)	65 (17.9%)
3	422	104 (24.6%)	110 (26.1%)	89 (21.1%)
4	337	94 (27.9%)	57 (16.9%)	104 (30.9 %)
5	322	117 (36.3%)	75 (23.3%)	110 (34.2 %)
6	364	140 (38.5%)	69 (19%)	135 (37.1 %)
7	399	120 (30.1 %)	99 (24.8%)	83 (20.8%)
8 3 3 6 7	342	77 (22.5%)	95 (27.8%)	68 (19.9 %)

4 – CONCLUSÕES

Neste trabalho verificou-se que as configurações espaciais das ANOM_S no HS variam em função do deslocamento tropical da convecção anômala associada a uma determinada fase da OMJ. A modulação de eventos extremos positivos de S pela OMJ, em 3 áreas de estudo do HS, mostrou que a fase 1 da OMJ aumenta significativamente a probabilidade de ocorrência diária de extremos na área B, enquanto as fases 5, 6 e 7 (4, 5 e 6) na área A (área C). Uma vez que S é obtida pela soma dos termos S1 e S2, sugere-se para trabalhos futuros verificar a contribuição individual de cada um destes dois termos em função de uma determinada fase da OMJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MATTHEWS, A. J. A multiscale framework for the origin and variability of the South Pacific Convergence Zone. **Q. J. Roy. Meteor. Soc.** 2012.

SHIMIZU, M. H. Fontes de ondas de Rossby: Aspectos observacionais, simulações numéricas e projeções futuras. 184 p. Tese de doutorado em meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, 2012.

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.