

Variabilidade temporal do fluxo da radiação de ondas longas no Brasil e vizinhanças no período de 1979 a 2008 - Parte I: Oscilação Intrasazonal

Nelson Jesus Ferreira¹
Suelen Trindade Roballo¹
Jorge Conrado Conforte¹

¹Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{nelson.ferreira, suelen.roballo, jorge.conrado}@cptec.inpe.br

Abstract. This study deals with the intraseasonal variability of Outgoing Longwave Radiation (OLR) flux over Brazil and vicinities. The analyses were done using wavelet transform and daily OLR data from the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) for the January 1979 to December 2008 period. The obtained results show that wavelets allow to map the intraseasonal component of OLR and its month to month evolution in broad areas in central Brazil, where the signal is strong in the South Atlantic Convergence Zone and also in the Midwest, Southeast and Northeast Brazil.

Palavras-chave: wavelets, intraseasonal, longwave radiation, ondaletas, intrasazonal, radiação de ondas longas.

1. Introdução

O fluxo da radiação de ondas longas emergentes (ROLE) é uma variável que caracteriza muito bem a atividade convectiva e a precipitação nos trópicos. Ela tem sido utilizada em inúmeros estudos observacionais na América do Sul sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul (Kodama, 1992), Alta da Bolívia (Lenters and Cook, 1997), início e fim da estação chuvosa, dentre outros. As escalas temporais da variabilidade de ROLE possibilitam a compreensão de importantes períodos da atividade convectiva como os ciclos diurno, intrasazonal, anual e interanual e a oscilação intrasazonal(OIS).

Num contexto global a OIS afeta uma porção significativa da troposfera tropical (Madden and Julian, 1971,1972), principalmente na baixa troposfera do hemisfério de verão na Região que envolve Oceanos Pacífico - Índico oeste. A OIS é caracterizada como uma flutuação que percorre o globo com um período entre 40 a 50 dias envolvendo a propagação de células de circulação zonal de oeste para leste (Hayashi and Golder 1986) e atividade convectiva. Desde os estudos pioneiros de Madden e Julian inúmeros trabalhos tem focado a OIS. Esta oscilação modula a atividade convectiva principalmente na região da Indonésia, Oceano Pacífico Equatorial Central, Nordeste e Sudeste do Brasil (Weickmann et al., 1985; Casarin e Kousky, 1986; Kousky e Kayano, 1994; Madden e Julian, 1994; Liebmann et al., 1999; De Souza e Ambrizzi, 2006; Vitorino et al., 2006; Castro e Cavalcanti, 2006).

No passado recente Jones e Carvalho (2002) avaliaram as conexões da OIS com as fases ativa e inativa da atividade convectiva do Sistema de Monção da América do Sul. Carvalho et al. (2004) analisaram a variabilidade da atividade convectiva e circulação de grande escala associada com a ZCAS durante o verão austral. Eles destacaram a importância da OIS na modulação da intensidade de episódios de ZCAS com persistência maior que três dias. Jones et al. (2004) investigaram as relações entre a propagação para leste da oscilação e ocorrências globais de precipitação extrema. Os resultados mostraram uma frequência mais alta de extremos sobre o Oceano Índico, Indonésia, Oceano Pacífico Oeste, oeste da América do Norte, nordeste da África e leste da China durante períodos ativos da OIS. Constatou-se também que a região leste da AS exibe sinais significativos de um aumento na frequência de extremos durante a fase propícia a atividade convectiva associada a OIS. Souza e Ambrizzi (2006) sugerem que a OIS constitui-se no principal mecanismo atmosférico que modula as variações pluviométricas sobre escala intrasazonal no leste da Amazônia e NEB.

Apesar dos avanços recentes da compreensão de como a OIS atua no Brasil, ainda há a necessidade de aprimorar o conhecimento de seu impactos climáticos. Assim, com o intuito de aprimorar o conhecimento da evolução da OIS o presente estudo tem como objetivo avaliar a variabilidade espaço temporal dessa variável na América Sul, e em particular no Brasil, por meio da transformada de ondaletas. Ao contrário de outros estudos o presente trabalho analisa o sinal intrasazonal na AS no domínio do espaço temporal, possibilitando assim espacializar com detalhes regiões em que o sinal intrasazonal está presente avaliando-se assim a evolução sazonal e interanual dessa variável.

2. Dados e Metodologia

As análises deste trabalho foram realizadas utilizando-se dados diários de radiação de ondas longas emergente (ROL) em pontos de grade, com espaçamento de 2,5 x 2,5 graus de latitude e longitude, durante o período de 1979 a 2008, disponibilizados pelo National Centers for Environmental Prediction e foram fornecidos pelo NOAA-CIRES Climate Diagnostic Center, Boulder, Colorado, através da homepage <http://www.cdc.noaa.gov/>. Maiores detalhes são encontrados em Kalnay et al. (1996). A visualização e a manipulação dos dados foram feitas utilizando-se a rotina Grid Analysis and Display System, fornecida pelo Center for Ocean-Land-Atmosphere-Interactions (Doty et al. 1997). As imagens e dados de precipitação oriundos do Global Precipitation Climatology Project gerados na Figura 1 foram obtidos pelo GES-DISC Interactive Online Visualization AND aNalysis Infrastructure, parte da NASA's Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center.

A análise por ondaletas utilizada neste estudo tem como base a convulsão do sinal de interesse com sucessivas funções, representativas de escalas diferentes que são as funções ondaletas expressas por:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

onde os valores reais $a(>0)$ representa a escala temporal e a posição “b” corresponde aos diferentes instantes ao longo do tempo. Assim, a transformada por ondaletas (W) contínua pode ser expressa por:

$$(W_{\psi}f)(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (2)$$

onde $f(t)$ é a função representa a série de dados a ser analisada e os parâmetros a e b estão associados à dilatação e translação da função, que respectivamente atuam no tamanho e na amplitude das ondaletas e implica na localização temporal. O termo \sqrt{a} no denominador corresponde a um fator de normalização da energia de cada ondaleta $W(b,a)$. A equação apresentada possibilita transformar uma série temporal num espaço a dois parâmetros (a, b) que traduz a medida local da amplitude relativa de variabilidade com escala “a” no instante “b”. A ondaleta pode ser representada pela parte real de seu coeficiente, na qual é capaz de descrever tanto a intensidade quanto a fase do sinal (Weng e Lau, 1994). Uma descrição detalhada da formulação matemática das transformadas de ondaletas foi documentada por Foufoula-Georgiou e Kumar (1994) e Torrence e Compo (1998). Neste trabalho optou-se por utilizar a função (complexa) ondeleta de Morlet por possuir características tais como simetria ou assimetria, e variação temporal brusca ou suave (Torrence e Compo, 1998).

3. Resultados

Com o intuito de identificar as características gerais do campo de chuva nos trópicos, a Figura 1 ilustra o campo médio do índice pluviométrico derivado do GPCP. Como esperado, a

precipitação é mais acentuada nos trópicos ao longo da ITCZ, na bacia Amazônica, ao longo das zonas de convergência do Pacífico Sul e Atlântico Sul e na região equatorial da Australásia. Essa figura, embora envolva dados de todas as estações do ano ela lembra muito bem o padrão espacial do regime de chuvas do verão austral. Essa estação é caracterizada por chuvas abundantes nas regiões sudeste, centro oeste e norte do Brasil, causadas principalmente pela ZCAS, Alta da Bolívia e Vórtices Ciclônicos que atuam na vizinhança da costa leste do Brasil. Deve se destacar que existem outros sistemas que também contribuem para as chuvas observadas no país, como por exemplo as frentes frias, linhas de instabilidades e sistemas convectivos de mesoescala. Do ponto de vista das escalas de tempo, a atividade convectiva nos trópicos e/ou a chuva é modulada pelos ciclos diurno, sazonal, intrasazonal, inter-anual e decenal. A seguir, com o intuito de focar as escalas de variabilidade que afetam os sistemas de tempo que atuam na America do Sul, ênfase é dada as análises da ISO.

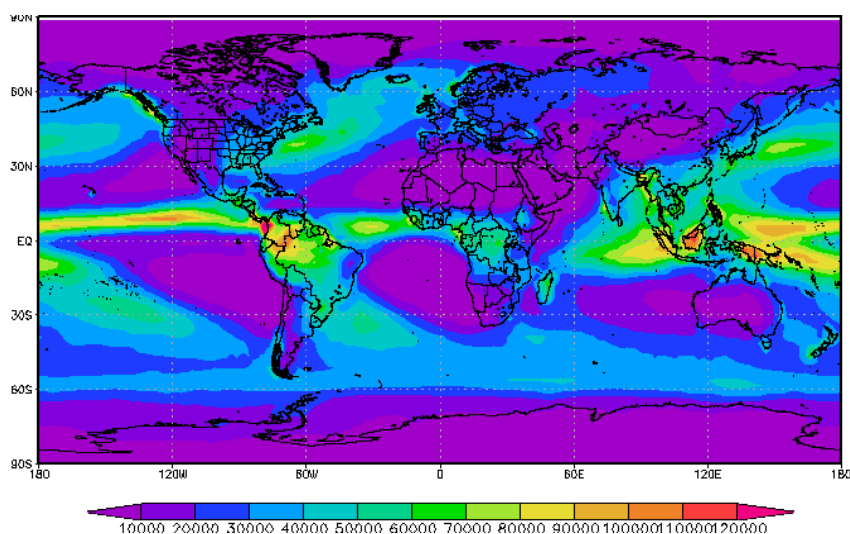


Figura 1. Precipitação acumulada (em mm) derivada do GPCP: 01/12/79- 31/12/ 2008.

A Figura 2 mostra a variabilidade global da potencia (variância) média mensal da componente intrasazonal de OLR obtido por meio da transformada de ondaletas durante o período de 1979 a 2008. Ênfase será dada a caracterização da OIS no hemisfério sul. De um modo geral observa-se que a atividade convectiva associada a ISO é marcante na vizinhança do equador na região que envolve a Austrália e Indonésia estendendo-se do oceano Indico centro leste ao Pacífico oeste.

No verão austral, além desta região ativa observa-se que no HS a OIS afeta as regiões centro-oeste, sudeste e parte do norte e nordeste do Brasil e sul da África. Na AS a intensidade dessa variabilidade é máxima em janeiro e fevereiro, meses em que a atividade convectiva são mais intensas. Essa característica modula as chuvas associadas a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), frentes frias e vórtices ciclônicos da alta troposfera na vizinhança do nordeste do Brasil. A propagação para leste da OIS a partir do Pacífico Oeste segue essencialmente duas rotas preferências, uma equatorial entre aproximadamente 0° e 20° N e outra que se estende de noroeste (a partir do Pacífico Oeste) para sudeste (na direção do sul da America do Sul). Essa característica está associada com a propagação de trens de ondas que assume uma trajetória meridional para nordeste a partir do sul do Brasil, seguindo o padrão de teleconexão Pacific-South American pattern (Ghil and Mo 1991; Karoly 1989; Kiladis and Mo 1998; Kidson 1999; Yuan and Martinson 2000) Hoskins and Ambrizzi, 1993, identificarm três possíveis rotas do Atlântico Sul, uma passando às margens da Região Nordeste do Brasil, outra, até o sul do continente Africano, e outra indo em direção ao guia de onda polar. No decorrer das estações do ano, progressivamente a ISO diminui de

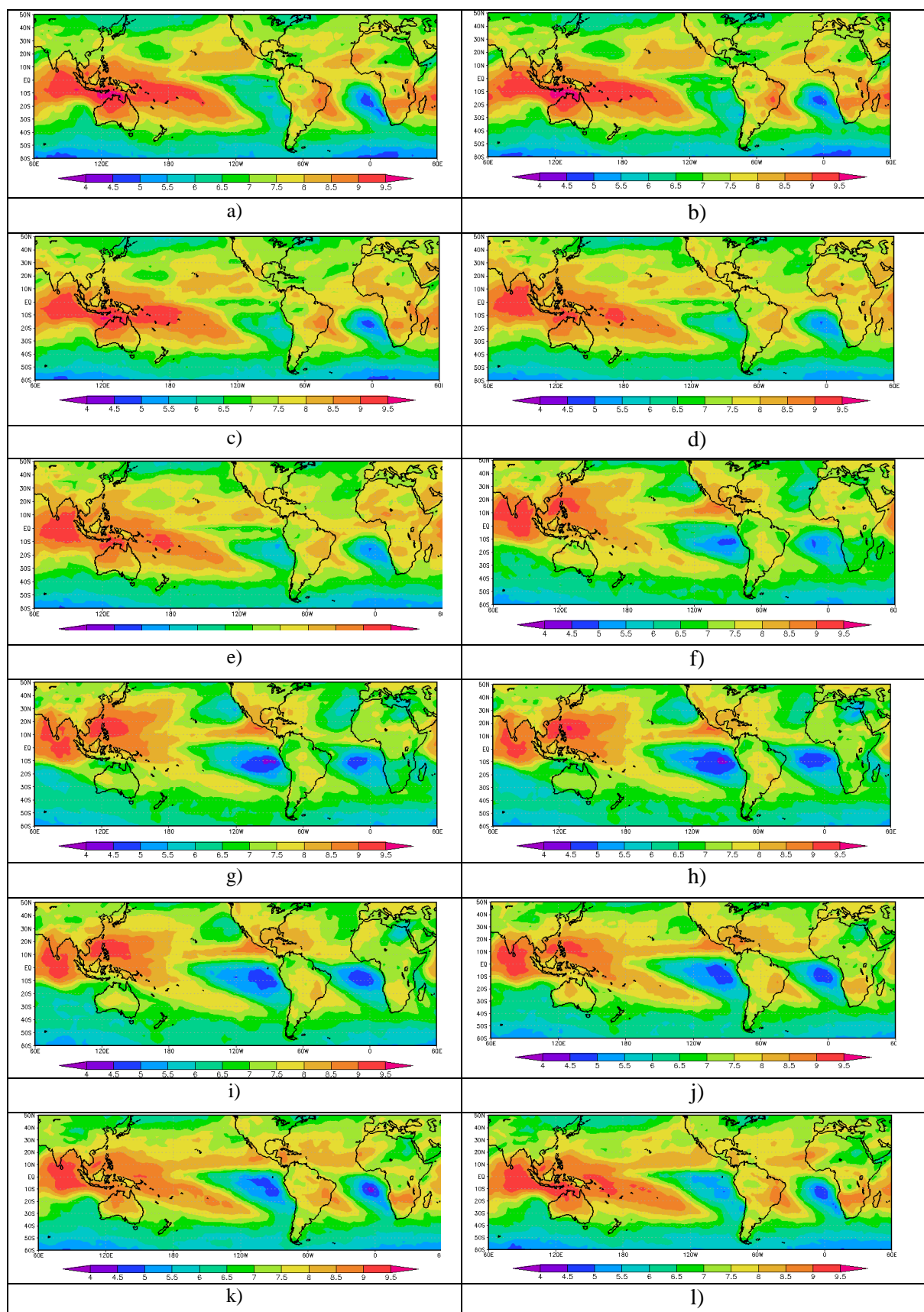


Figura 2: Potência (W^2/m^4) da componente intrasazonal de ROL derivada da transformada de ondaleta durante o período de 1979 a 2008: a) janeiro, b) fevereiro, c) março, d) abril, e) maio, f) junho, g) julho, h) agosto, i) setembro, j) outubro, k) novembro, l) dezembro.

intensidade no HS mas ainda afeta o SE NE em abril e maio. Destaca-se também que a propagação da OIS seguindo o padrão de trens de ondas de Rossby é mais evidente no inverno afetando principalmente as regiões SE, S e CO do Brasil. Isso sugere que nesta época do ano a ISO modula as frentes frias e/ou invasões de ar polar nessa região. Ao longo do outono, no Brasil, observa-se que progressivamente a área de atuação da OIS expande-se para norte a partir do sudeste afetando novamente o NEB. Na África destaca-se a intensificação da ISO no sul do continente.

Como observado anteriormente a OIS afeta de forma diferenciada as diversas regiões tropicais, sendo que na América do Sul o sinal é mais acentuado na região Sudeste. Isto é ilustrado pela evolução temporal da amplitude (componente real) da componente intrasazonal da ondaleta em uma área representativa das regiões sudeste (linha cinza) e nordeste (linha verde) do Brasil (Figura 3), durante o período de 2007 a 2008. Observa-se que na região sudeste a amplitude da OIS é marcante no período de máxima atividade convectiva que ocorre entre outubro a março. Em particular destacam-se os episódios com fases favoráveis (amplitude negativa) para instabilidade atmosférica que ocorreram respectivamente nos dias 05/12/2007 e 24/01/2008. A imagem de satélite na Figura 4 ilustra a situação meteorológica desse último dia. Observa-se a presença de muita nebulosidade de origem convectiva em grande parte do território brasileiro e em particular ao longo da frente fria que se estende da região sudeste até o Oceano Atlântico Sudoeste. Essa faixa de instabilidade coincide com a área de atuação da fase favorável da OIS, e portanto, favorece a precipitação na região.

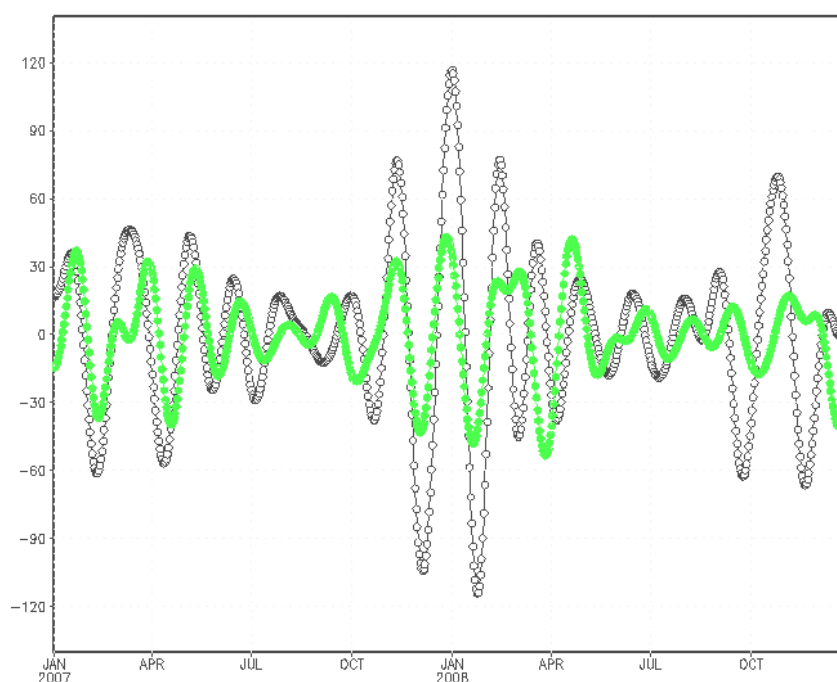


Figura 3. Série temporal da amplitude da ISO de ROLE, período de 01 de janeiro de 2007 a 31 de dezembro de 2008: a linha verde representa uma área no NEB (5° S e 40° W) e a cinza com círculos a área onde a variância é máxima no sul da Bahia (15° S e 45° W).

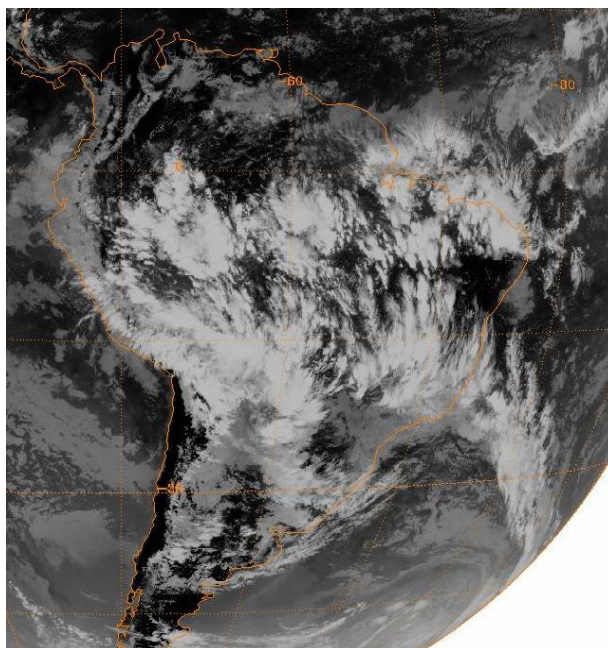


Figura 4. Imagem do canal infravermelho, satélite GOES 12, 23/01/2008 ilustrando atividade convectiva na região sudeste do Brasil durante um período de fase favorável da OIS.

4. Considerações Finais

As análises global da variância (potência) da componente intrasazonal de ROLE durante o período de 1979 a 2008, particularmente sobre a América do Sul, evidencia que a OIS apresenta sinal marcante na região sudeste do Brasil ao longo da Z/CAS e se estende meridionalmente na direção do NE do Brasil. Ao longo do ano a variância é maior no período de outubro a março e menor no inverno austral quando se restringe ao sul sudeste e centro oeste do Brasil.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio.

Referências

- Carvalho, L. M. V.; Jones, C.; Liebmann, B. The South Atlantic Convergence Zone: persistence, intensity, form, extreme precipitation and relationships with intraseasonal activity. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108, 2004.
- Casarin, D. P.; Kousky, V. E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, p. 83-90, 1986.
- Castro, C. A. C.; Cavalcanti, I. F. A. Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. **International Journal of Climatology**, UK, v. 26, p. 1165-1180, 2006.
- Doty, B. E.; Kinter III, J.L.; Fiorino, M.; Hooper, D.; Budich R.; Winger K.; Schulzweida, U.; Calori, L.; Holt, T.; K. Meier, K. The grid analysis and display system (GrADS): An update for 1997. In: International Conference on IIPS for Meteorology, Oceanography and Hydrology, 13, 1997, Longbeach. **Proceedings**. Longbeach: American Meteorological Society, 1997, p.117.
- Foufoula-Georgiou, E.; Kumar, P. **Wavelets in Geophysics: Wavelet analysis and its applications**. San Diego, Academic Press, 1994, 372p.
- Hayahshi, Y.; Golder, D. G. Tropical intrseasonal oscillations appearing in a GFDL general circulation model and FGGE data. Part I: phase propagation. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 43, p. 3058-3067, 1986.

Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K. C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; Jenne, R.; Joseph, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471, 1996.

Knutson, T.R.; Weickmann, K.M. 30-60 day atmospheric oscillations: composite life cycles of convection and circulation anomalies. **Monthly Weather Review**, v. 117, p. 1407-1436, 1987.

Kodama, Y. M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 70, p. 813-835, 1992.

Kousky, V. E.; Kayano, M. T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250mb circulation for the South American sector. **Journal of Climate**, v. 7, n. 7, p. 1131-1143, 1994.

Lenters, J.D.; Cook, K.H. On the Origin of the Bolivian High and Related Circulation Features of the South American Climate. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 54, Issue 5, p. 656-678, 1997.

Liebmann, B.; Kiladis, G.N.; Marengo, J.A.; Ambrizzi, T.; Glick, J.D. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1877-1891, 1999.

Madden, R.A.; Julian, P.R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 28, p. 702-708, 1971.

Madden, R.A.; Julian, P.R. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 29, p. 1109-1123, 1972.

Souza, E.B.; Ambrizzi, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden Julian oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1759-1776, 2006.

Torrence, C.; Compo, G.P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 79, p. 61-78, 1998.

Vitorino, M. I.; Silva Dias, P. L.; Ferreira, N. J. Observational study on the seasonality of the submonthly and intraseasonal signal over the tropics. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 93, n. 1-2, p. 17-35, 2006.

Weickmann, K. M.; Lussky, G. R.; Kutzback, J. E. Intraseasonal (30-60 day) fluctuations of outgoing longwave radiation and 250mb streamfunction during northern winter. **Monthly Weather Review**, v.113, p.941-961, 1985.