

Variabilidade intrassazonal extrema da temperatura do ar à superfície na Península Antártica

Intraseasonal extreme variability on the air surface temperature in the Antarctic Peninsula

Nathalie Tissot Boiaski¹, Simone Erotildes Teleginski Ferraz², Jônatan Dupont Tatsch³

¹ Doutora em Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

^{2,3} Doutor(a) do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFSM, Santa Maria, RS, Brasil

Resumo

A Península Antártica (PA) é uma das regiões da Terra onde o aquecimento foi mais acelerado nos últimos 50 anos. Há indícios de que esta tendência esteja associada, em parte, ao aumento da atividade intrassazonal (IS) tropical. Utilizando dados de estações, este estudo mostrou que a variabilidade da temperatura do ar à superfície (Tsup) sobre a PA apresenta um pico estatisticamente significativo na escala IS (78 dias). A influência da Oscilação Madden-Julian (MJO) sobre os eventos IS da Tsup na PA foi quantificada: mais de 60% dos eventos foram associados à MJO, via trem de ondas de Rossby com periodicidade em torno de 30-40 dias. Portanto, outros mecanismos precisam ser investigados para explicar a variabilidade IS da Tsup na PA não associada à MJO (NMJO). Tanto os eventos NMJO quanto o total de eventos (MJO + NMJO) foram mais frequentes na primavera. Além disso, nos últimos 12 anos analisados (1998-2009) houve uma maior frequência de eventos MJO do que NMJO, principalmente na primavera e no inverno.

Palavras-chaves: extremos de temperatura, variabilidade intrassazonal, MJO, PSA, Península Antártica.

Abstract

The Antarctic Peninsula (AP) is one of the earth's regions where warming was most rapid in the past 50 years. There are evidences that this trend is linked in part to increased tropical intraseasonal (IS) activity. From stations data, this study showed that the surface air temperature (SAT) variability on the AP has a statistically significant peak in the IS time-scale (78 days). The Madden - Julian Oscillation (MJO) influence on the IS events were quantified: more than 60% of events were associated with MJO via Rossby wave train with periodicity about 30-40 days. Therefore, other mechanisms need to be investigated to explain the IS SAT variability on the AP not associated with the MJO (NMJO). NMJO and total events (MJO + NMJO) were more frequent in the spring. Furthermore, in the last 12 years studied (1998-2009) there was a higher frequency of MJO than of NMJO events, especially in spring and winter.

Keywords: temperature extreme, intraseasonal variability, MJO, PSA, Antarctic Peninsula.

1 Introdução

É amplamente conhecido que a Península Antártica e o setor oeste da Antártica apresentaram um substancial aquecimento nos últimos 30-50 anos (e.g., Turner et al. 2005; Schneider et al., 2011). As razões para este aquecimento tem sido objeto de diversos estudos ao longo desses anos.

No último relatório do IPCC (Hartmann et al., 2013) foi apontado que incertezas observacionais resultam em baixa confiança da influência antropogênica no aquecimento observado sobre a Antártica. Sendo assim, a variabilidade climática natural possui um papel fundamental para o entendimento das mudanças climáticas que ocorrem naquele continente.

A Oscilação Antártica (AAO) é o principal modo de variabilidade da circulação atmosférica extratropical do Hemisfério Sul - HS (e.g. Gong e Wang, 1999; Thompson e Wallace, 2000). O rápido aquecimento sobre a Península Antártica nos últimos 30 anos foi explicado em parte por uma tendência positiva da AAO que foi atribuída à diminuição do ozônio estratosférico e ao aumento dos gases de efeito estufa (e.g., Thompson e Solomon, 2002; Marshall et. al. 2004). Esta tendência implica em pressões mais baixas sobre a Antártica e Oceano Austral, e pressões relativamente mais altas em latitudes médias, resultando em uma intensificação dos ventos de oeste circumpolares. Entretanto, a tendência de aumento da fase positiva da AAO é restrita ao verão e outono (Marshall, 2007) e, portanto, não parece estar associada ao intenso aquecimento observado no inverno sobre oeste da Península Antártica (e.g., Turner et al., 2005; Monaghan et al. 2008) e na primavera sobre oeste do continente (e.g., Schneider et al., 2011).

Diversos estudos investigaram as teleconexões entre as condições atmosféricas no Pacífico tropical e latitudes extratropicais. Hoskins e Karoly (1981), por meio de uma investigação teórica, mostraram que regiões de convecção profunda próxima ao equador podem gerar ondas de Rossby através da vortacidade gerada por aquecimento diabático. Estas ondas movem-se em direção aos pólos em ambos os hemisférios, e proporcionam uma forma de teleconexão entre o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e o clima de latitudes médias. Este trem de ondas foi denominado como padrão Pacífico-Sul Americano (PSA) (e.g., Mo e Higgins, 1998) por ser análogo aos três centros de ação do Pacífico-Norte Americano (PNA) observado por Wallace e Gutzler (1981). Karoly (1989) observou um padrão semelhante ao PSA em anos de El Niño no inverno austral. Este trem de ondas afeta as condições sinóticas sobre a região sul da América do Sul, bem como a Península Antártica (Harangozo, 2000).

Em suma, o PSA aparece como uma resposta ao ENOS na escala interanual no HS (Karoly 1989; Mo e Paegle 2001). Na escala intrassazonal (banda entre 20-100 dias), o principal modo de variabilidade nos trópicos é a Oscilação Madden-Julian (em inglês, Madden-Julian

Oscillation – MJO; Madden e Julian, 1994) e sua resposta extratropical é via PSA (e.g., Mo e Paegle 2001).

A relação entre a MJO e AAO foi investigada por Carvalho et al. (2005) durante o verão austral. Os autores detectaram um aumento (diminuição) da atividade intrassazonal (IS) dos trópicos para os extratropicos do HS associado com as fases negativas (positivas) da AAO. Além disso, encontraram indícios que o início da fase negativa da AAO esteja relacionado com a propagação da MJO. Na fase positiva da AAO foi observada supressão da atividade convectiva intrassazonal sobre a Indonésia.

O aquecimento observado no oeste da Antártica no inverno (Ding et al. 2011) e na primavera (Schneider et al., 2011) foi associado a um aumento da temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico tropical. Este aumento na TSM sugere que a convecção profunda anômala intensifica ou aumenta a ocorrência do PSA. Adicionalmente, mudanças interdecadais da resposta extratropical da MJO explicaram aproximadamente 15% do aquecimento interdecadal sobre a Antártica no inverno (Yoo et. al. 2012).

Portanto, estes estudos indicam que há uma contribuição da MJO na mudança climática observada sobre a Antártica, principalmente no inverno e na primavera no setor oeste do continente. Porém, os mecanismos associados ao aquecimento sobre a Península Antártica nestas estações do ano são menos conhecidos. De fato, ainda não se sabe qual é a contribuição da MJO na variabilidade IS da temperatura do ar à superfície (Tsup) sobre a Península Antártica. Nesse artigo, é avaliado o quanto dessa variabilidade está associado à MJO e como esta varia nas escalas sazonal e interanual. Por fim, é mostrado o padrão de circulação atmosférica da variabilidade IS extrema da Tsup associada e não associada à MJO.

2 Dados e Metodologia

A Península Antártica é a região do continente antártico com maior densidade de estações, o que possibilita um estudo utilizando dados *in situ*. Dados diários de Tsup de estações localizadas na Península Antártica no período de 1986-2009 foram utilizados para avaliar a variabilidade IS da Tsup naquela região. Os dados até 2001 foram obtidos pelo National Snow and Ice Data Center (Stroeve e Shuman, 2003) e a partir de 2002 pelo serviço “Russia’s Weather” (disponível em: <http://meteo.infospace.ru/>). No total foram selecionadas quatro estações que continham o maior período de dados diários e a menor quantidade de falhas (Tabela 1).

Para determinar a frequência mais proeminente na Tsup, dentro da banda IS (20-100 dias), foi realizada uma análise espectral dos dados, após remover a tendência e o ciclo anual e semianual (obtido pelo ajuste dos dois primeiros harmônicos). Posteriormente, os dados foram filtrados na escala IS retendo-se períodos entre

Tabela 1. Estações utilizadas neste estudo com suas respectivas altitude, latitude, longitude e porcentagem de dados diários faltantes no período 1986-2009.

N° da estação (OMM)	Nome da estação	País responsável	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Dados faltantes (%)
89057	Arturo Prat	Chile	5	62°30'S	59°41'W	1.9
89054	Dinamet	Uruguay	17	62°09'S	58°50'W	2.0
89056	Eduardo Frei	Chile	10	62°14'S	58°56'W	1.3
89053	Jubany	Argentina	4	62°14'S	58°38'W	0.7

20-100 dias, utilizando a Fast Fourier Transform - FFT (e.g., Helms, 1967). A partir dessas anomalias IS foram obtidos os extremos IS de Tsup utilizando como critério o quartil inferior (q25) e superior (q75) da distribuição das anomalias IS. Abaixo do q25 foram considerados os extremos IS frios e acima do q75, os extremos IS quentes. Os limiares q25 e q75 foram calculados para cada estação do ano: primavera (SON), verão (DJF), outono (MAM) e inverno (JJA).

Os eventos independentes, denominados aqui de eventos IS, foram considerados como a ocorrência consecutiva de extremos IS cujo intervalo foi igual ou superior a dois (2) dias. Os Eventos IS Frios são denominados "EIF" e os Eventos IS Quentes "EIQ". Estes eventos foram separados em duas categorias: (i) eventos IS de Tsup observados em qualquer fase da OMJ – denominados daqui em diante como eventos "MJO"; (ii) eventos IS de Tsup não relacionados com a propagação da MJO e que tenham acontecido num intervalo igual ou superior a cinco (5) dias da ocorrência de um episódio MJO. Daqui em diante estes eventos serão denominados "NMJO".

O índice MJO utilizado para detectar os períodos ativos e não ativos da MJO foi proposto por Jones (2009) e foi uma cortesia do autor. Este índice é calculado por meio de Funções Ortogonais Empíricas (em inglês, Empirical Orthogonal Function, EOF) combinada das anomalias do vento zonal em 200 hPa (U200) e em 850 hPa (U850), ambos os dados de reanálises do NCEP-NCAR (Kalnay et al. 1996). A resolução temporal dos dados é diária e a resolução espacial de 2,5° x 2,5° de latitude e longitude. O domínio da EOF compreende o domínio a região tropical (30°N-30°S e todas as longitudes). Para isolar o sinal da MJO, os dados de U200 e U850 foram filtrados em frequência na banda entre 20-100 dias.

A circulação atmosférica superior foi investigada durante os eventos MJO e NMJO utilizando os dados diários de geopotencial em 200 hPa (H200) das reanálises II do NCEP-DOE (National Centers for Environmental Predictions) com resolução horizontal de 2,5° x 2,5° (Kanamitsu et al., 2002). Assim como nos dados de Tsup, a tendência e o ciclo anual foram removidos e após a aplicação do filtro FFT na banda 20-100 dias obteve-se as anomalias IS de H200 (H200IS). Para mostrar a evolução temporal de H200IS nos eventos MJO e NMJO foram realizadas composições defasadas.

3 Resultados e Discussão

Primeiramente foi examinada a densidade espectral da Tsup nas estações da Península Antártica utilizadas neste estudo (Figura 1). Tsup mostrou um pico estatisticamente significativo ($\alpha=95\%$) em 78 dias em todas as estações analisadas, i.e., dentro da banda IS. Yu et al. (2011) identificaram dois períodos importantes na variabilidade da temperatura do ar a 2m na Antártica e no Oceano Austral em 29 invernos (1979-2007) utilizando dados das reanálises II do NCEP/NCAR: 26-30 dias e 13-14 dias. No entanto, Lima e Carvalho (2008) observaram o mesmo sinal encontrado no presente estudo nas anomalias de gelo marinho nos mares de Amundsen e Bellingshausen. Pelo fato do pico espectral IS estar próximo da escala temporal da MJO (entre 20-100 dias), os EIF e EIQ foram separados em MJO e NMJO (ver a explicação em "Dados e Metodologia") para avaliar a influência desta oscilação nos eventos IS de Tsup na Península Antártica em cada estação do ano (Tabela 2). Para sintetizar, somente os resultados da estação chilena Arturo Prat serão mostrados. Há uma predominância dos eventos MJO em todas as estações do ano. Porém, existe um número substancial de eventos NMJO, principalmente na primavera, que precisam ser investigados. Além disso, no total ocorreram mais eventos IS de Tsup na primavera quando comparado às demais estações do ano. Por conta disso, os padrões da circulação atmosférica superior serão avaliados somente para a primavera. A diferença no número de eventos CIE e WIE não foi estatisticamente significativa.

A variabilidade interanual dos eventos MJO e NMJO é mostrada na Figura 2. Nos últimos 12 anos analisados (1998-2009) houve uma maior frequência de eventos MJO do que NMJO. Estes resultados são mais evidentes na primavera e no inverno. Isto sugere que a maioria dos eventos IS de Tsup na Península Antártica ocorridos na última década estiveram associados com a propagação da MJO. Estes resultados sugerem que o aumento no número de eventos MJO no período de 1990-2008, associado ao aquecimento dos Oceanos Pacífico e Índico tropical (Jones e Carvalho, 2011), possa ter influenciado os eventos IS de Tsup na Península Antártica entre 1998-2009. É possível observar-se ainda na Figura 2 e na Tabela 2 o predomínio dos eventos MJO no verão.

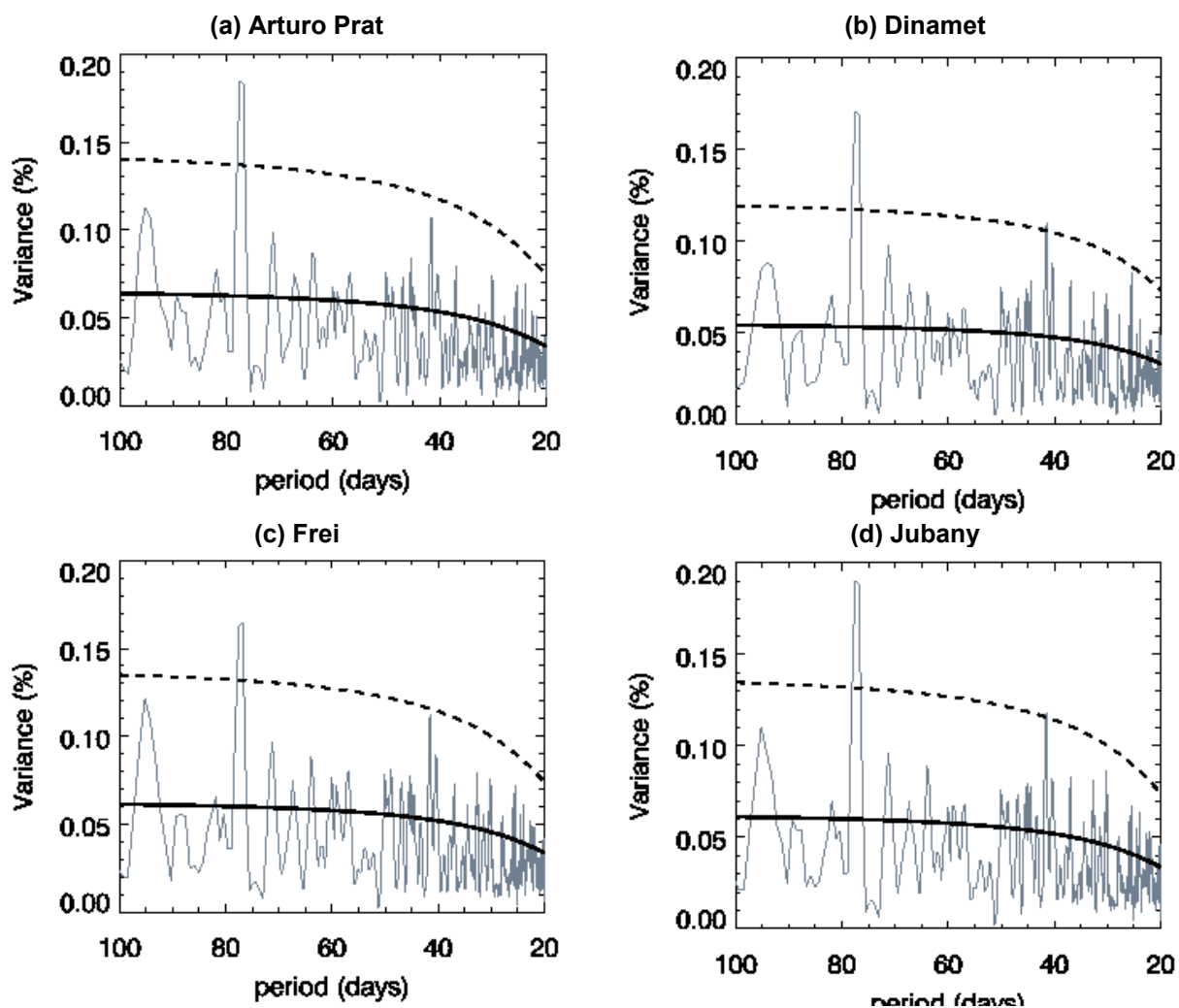


Figura 1. Variância espectral da T_{sup} diária nas estações (a) Arturo Prat, (b) Dinamet, (c) Frei, (d) Jubany entre 1986-2009, localizadas no oeste da Península Antártica. As linhas contínuas e tracejadas representam o ruído vermelho e o nível de significância estatística de 95%, respectivamente.

Tabela 2. Número de eventos EIF e EIQ observados nos episódios MJO e NMJO em cada estação do ano na estação Arturo Prat no período entre 1986-2009. As duas últimas colunas mostram a porcentagem dos eventos MJO e NMJO, i.e., foram somados os EIF e os EIQ em cada caso e divididos pelo total de eventos (terceira coluna).

	EIF		EIQ		Total	MJO (%)	NMJO (%)
	MJO	NMJO	MJO	NMJO			
Primavera (SON)	39	25	37	22	123	62	38
Verão (DJF)	44	9	46	14	113	80	20
Outono (MAM)	37	16	36	20	109	67	33
Inverno (JJA)	32	23	33	14	102	64	36

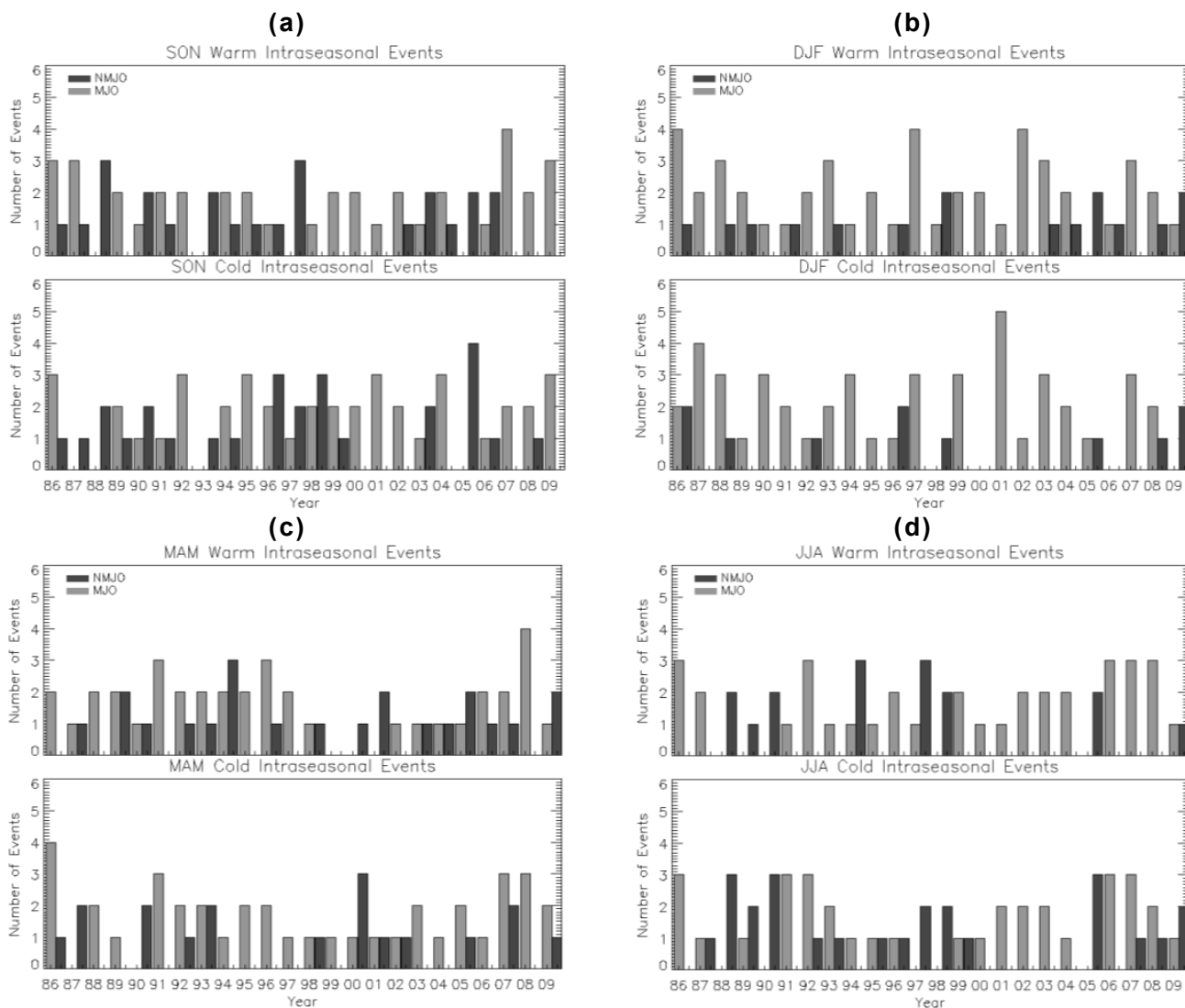


Figure 2. Variabilidade interanual do número de eventos MJO e NMJO (a) na primavera, (b) no verão, (c) no outono e (d) no inverno na estação Arturo Prat entre 1986 a 2009. No painel superior (inferior) de cada figura são os EIQ (EIF).

Durante os eventos IS de Tsup na Península Antártica na primavera, observa-se um trem de ondas entre latitudes médias e altas do HS propagando-se para leste (Figura 3 e Figura 4). Este padrão é semelhante ao observado por diversos estudos (e.g., Lima e Carvalho, 2008; Yu et al., 2011), conhecido como o padrão PSA. A presença de anomalias negativas (ciclônicas) estatisticamente significativas de H200IS sobre a Península Antártica foi observada durante os EIF (Figure 3). Em ambos os casos (MJO e NMJO), as anomalias negativas de H200IS aparecem cerca de 10 dias antes (lag = -10) dos EIF sobre a região de estudo e se propagam lentamente para nordeste, atingindo a região sudeste da América do Sul cinco (5) dias após os eventos EIF, embora isto seja mais evidente nos eventos NMJO (Figura 3b). Con-

comitantemente, anomalias positivas (anticiclônicas) se aproximam do Mar de Bellingshausen. Esta configuração contribui para uma advecção fria do polo para latitudes médias do HS, em direção a América do Sul (não mostrado).

Comparando-se os EIQ (Figura 4) e os EIF (Figura 3), observa-se que estes estiveram associados a fases opostas do trem de ondas observado por meio de H200IS. A configuração das anomalias de H200_{IS} sugere uma advecção quente de latitudes médias para a região de estudo nos eventos EIQ (Figura 4). As composições de H200_{IS} para os eventos NMJO (Figura 3b e Figura 4b) apresentaram um padrão similar aos eventos MJO (Figura 3a e Figura 4a).

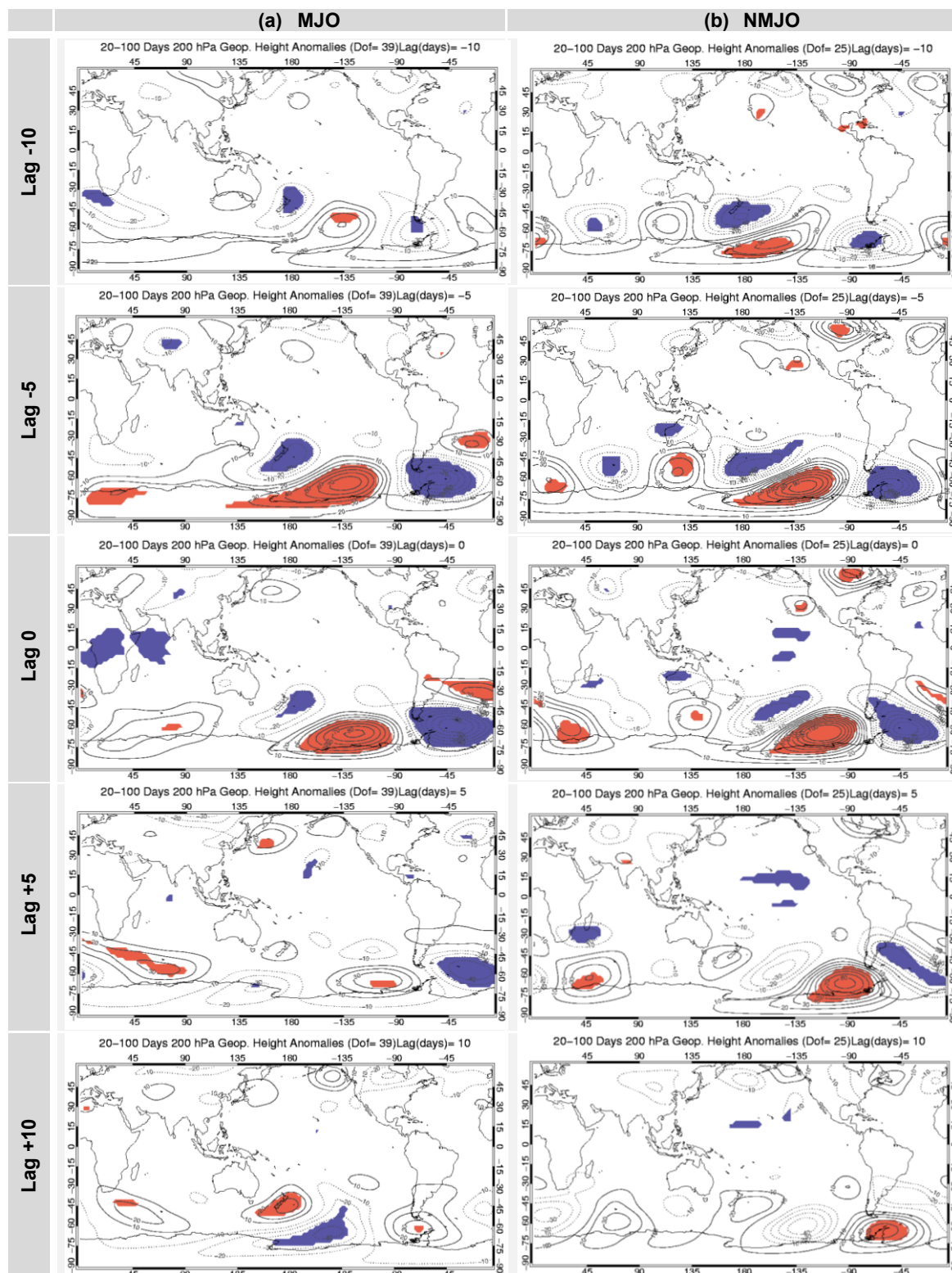


Figura 3. Composições defasadas das anomalias intrassazonais da altura geopotencial (m) em 200 hPa para os eventos intrassazonais frios (EIF) na primavera: (a) EIF associados a MJO e (b) EIF não associados a MJO (ver texto acima para explicação). As linhas contínuas (tracejadas) indicam valores positivos (negativos). As áreas destacadas em laranja (azul) são para os valores positivos (negativos) estatisticamente significativos ao nível de 95%, baseado no teste t-Student. O intervalo dos contornos é de 10 m.

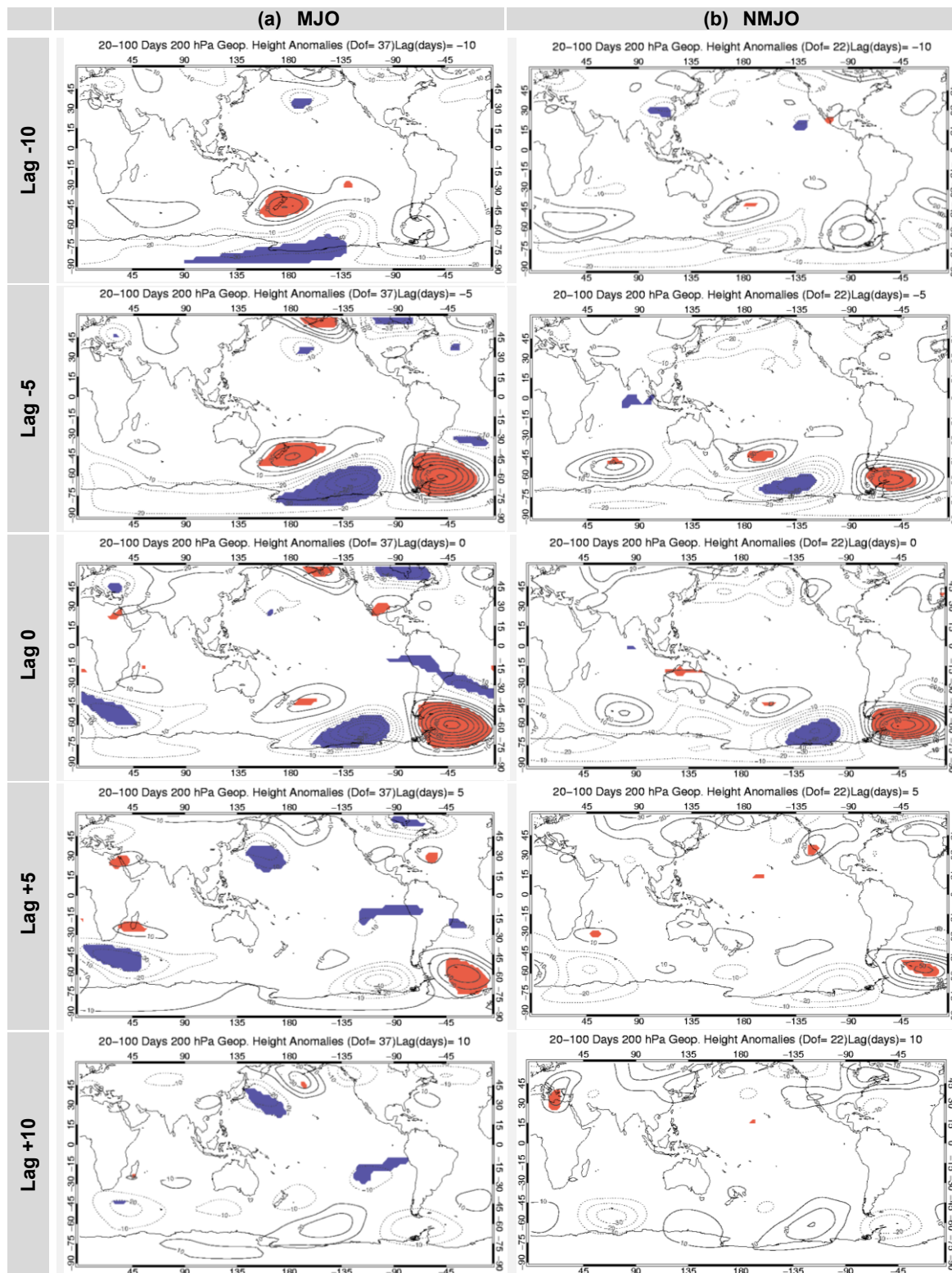


Figura 4. Idem a Figura 3, mas para os eventos intrassazonais quente (EIQ).

4 Conclusões

A variabilidade da Tsup sobre a Península Antártica tem um pico estatisticamente significativo em torno de 78 dias (Figura 1). Os eventos IS de Tsup foram predominantemente associados à MJO. No entanto, tanto os eventos NMJO quanto o total de eventos (MJO + NMJO) são mais frequentes na primavera. Por conta disso, os padrões da circulação atmosférica superior foram avaliados somente para a primavera.

Em ambos os eventos (MJO e NMJO) um trem de ondas de Rossby se propaga para leste entre latitudes médias e altas do HS, semelhante ao PSA e consistente com estudos prévios (e.g., Yu et al., 2011; Yoo et al. 2012). Esse trem de ondas apresenta fases opostas para eventos EIF e EIQ. Em eventos EIF (EIQ) ocorrem anomalias negativas (positivas) de H200IS sobre a Península Antártica e anomalias positivas (negativas) sobre o mar de Bellingshausen, o que favorece a advecção fria (quente) do polo (de latitudes médias) para latitudes médias (polo). Ambos os casos MJO e NMJO são precedidos por anomalias negativas (positivas) de H200IS cerca de 10 dias (5 dias) nos eventos EIF (EIQ) sobre a região de estudo. Após 10 dias a fase do trem de ondas de Rossby se opõe. Então a periodicidade deste modo é em torno de 30-40 dias, diferindo do pico de 78 dias na Tsup. Esta defasagem sugere a influência de outros mecanismos na variabilidade IS da Tsup sobre a Península Antártica, tal como a variabilidade do ozônio estratosférico e do vórtice polar (e.g., Thompson e Solomon, 2002; Thompson et al. 2002; Thompson et al. 2005).

Nos últimos 12 anos (1998-2009) houve uma maior frequência de eventos MJO do que NMJO, principalmente na primavera e no inverno, consistente com o aumento no número de episódios MJO no período de 1990-2008 (Jones e Carvalho, 2011).

Dado que acima de 60% dos eventos IS da Tsup na Península Antártica são associados à MJO, deve-se levar em conta esta forçante tropical para monitorar e melhorar a previsão climática sobre a região de estudo. Além disso, é necessário investigar o papel de outras forçantes tal como a topografia da Antártica na atividade IS em altas latitudes do HS (Hsu e Weng, 2002).

Agradecimentos

Ao Dr. Charles Jones (UCSB, EUA) pelo índice MJO e a Dra. Leila M. V. de Carvalho (UCSB, EUA) pelos comentários e sugestões. N.T. Boiaski agradece à FAPESP (nº 05/52389-2 e 08/53009-7) e à FAPERGS (SPI nº 2793-25.51/12-4 e FPE nº 161/2011) pelo auxílio financeiro.

Referências

- Bromwich, D. H., Monaghan, A. J., Guo, Z. C. Modeling the ENSO modulation of Antarctic climate in the late 1990s with the polar MM5. **Journal of Climate**, 17, 109–132. 2004.
- Carvalho, L. M. V., Jones, C., Ambrizzi, T. Opposite phases of the Antarctic Oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the Tropics during the austral summer. **Journal of Climate**, 18, 702–718. 2005.
- Ding, Q., Steig, E. J., Battisti, D. S., Kuttel, M. Winter warming in West Antarctica caused by central tropical Pacific warming. **Nature Geoscience**, 4, 398–403. 2011.
- Gong, D., Wang, S. Definition of Antarctic Oscillation. **Geophysical Research Letters**, 26, 459–462. 1999.
- Harangozo, S. A. A search for ENSO teleconnections in the west Antarctic Peninsula climate in Austral winter. **International Journal of Climatology**, 20, 663–679. 2000.
- Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F. J., Dlugokencky, E. J., Easterling, D. R., Kaplan, A., Soden, B. J., Thorne, P. W., Wild, M., Zhai, P.M. Observations: Atmosphere and Surface. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.
- Helms, H. Fast Fourier transform method of computing difference equations and simulating filters. **IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics**, 15(2), 85–90. 1967.
- Hoskins, B. J., Karoly, D. J. The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 38, 1179–1196. 1981.
- Hsu, H. H., Weng, S. Stratospheric Antarctic Intraseasonal Oscillation during the Austral Winter. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, 80, 1029–1050. 2002.

- Jones, C. A Homogeneous Stochastic Model of the Madden-Julian Oscillation. **Journal of Climate**, 22, 3270-3288. 2009.
- Jones, C., Carvalho, L. M. V. Stochastic simulations of the Madden-Julian Oscillation activity. **Climate Dynamics**, 36, 229-246. 2011.
- Kalnay, E. et al. The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 77, 437-471. 1996.
- Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S., Hnilo, J. J., Fiorino, M., Potter, G. L. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). **Bulletin of the American Meteorological Society**, 83, 1631-1643. 2002.
- Karoly D. J. Southern Hemisphere circulation features associated with El Niño–Southern Oscillation events. **Journal of Climate**, 2, 1239–1252. 1989.
- Lima, F. U. F., Carvalho, L. M. V. Extreme intraseasonal anomalies in the Amundsen-Bellingshausen sea ice extent during the Austral winter. **Annals of Glaciology**, 48, 58-64. 2008.
- Madden, R. A., Julian, P. R. Observation of the 40-50 day tropical oscillation - A review. **Monthly Weather Review**, 122, 814-837. 1994.
- Marshall, G. J., Stott, P. A., Turner, J., Connolley, W. M., King, J. C., Lachlan-Cope, T. A. Causes of exceptional atmospheric circulation changes in the Southern Hemisphere. **Geophysical Research Letters**, 31, L14205. 2004.
- Marshall, G. J. Half-century seasonal relationships between the Southern Annular Mode and Antarctic temperatures. **International Journal of Climatology**, 27, 373–383. 2007.
- Mo, K. C., Higgins. R. W. The Pacific-South American modes and tropical convection during the Southern Hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, 126, 1581–1596. 1998.
- Mo, K. C., Paegle, J. N. The Pacific-South American Modes and their Downstream Effects. **International Journal of Climatology**, 21, 1211-1229. 2001.
- Monaghan, A. J., Bromwich, D. H., Chapman, W., Comiso, J. C. Recent variability and trends of Antarctic near-surface temperature. **Journal of Geophysical Research**, 113, D04105. 2008.
- Russia's Weather. Weather Conditions: Antarctica. Disponível em: <http://meteo.infospace.ru/>. Acesso em: 17 mai. 2014.
- Schneider, D., Dese, C., Okumura, Y. An assessment and interpretation of the observed warming of West Antarctica in the austral spring. **Climate Dynamics**, 38, 323–347. 2011.
- Stroeve, J., Shuman, C. **Historical arctic and antarctic surface observational data**. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. Digital media. 2003.
- Thompson, D. W. J., Wallace, J. M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: month-to-month variability. **Journal of Climate**, 13, 1000-1016. 2000.
- Thompson, D. W. J., Solomon, S. Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change. **Science**, 296, 895–899. 2002.
- Thompson, D. W. J., Baldwin, M. P., Wallace, J. M. Stratospheric Connection Northern Hemisphere Wintertime Weather: Implications for Prediction. **Journal of Climate**, 15, 1421-1428. 2002.
- Thompson, D. W. J., Baldwin, M. P., Solomon, S. Stratosphere troposphere coupling in the Southern Hemisphere, **Journal of the Atmospheric Sciences**, 62, 708-715. 2005.
- Turner, J. The El Niño-Southern Oscillation and Antarctica. **International Journal of Climatology**, 24, 1–31. 2004.
- Turner, J., Colwell, S. R., Marshall, G. J., Lachlan-Cope, T. A., Carleton, A. M., Jones, P. D., Lagun, V., Reid, P. A., Iagovkina, S. Antarctic climate change during the last 50 years. **International Journal of Climatology**, 25, 279–294. 2005.
- Wallace, J., Gutzler, D. S. Teleconnections in the geopotential height field during Northern Hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, 109, 785-812. 1981.
- Yoo, C., Lee, S., Feldstein, S. The impact of the Madden-Julian Oscillation trend on the Antarctic warming during the 1979–2008 austral winter. **Atmospheric Science Letters**, 13, 194–199. 2012.
- Yu, L., Zhang, Z., Zhou, M., Zhong, S., Sun, B., Hsu, H., Gao, Z., Wu, H., Ban, J. The intraseasonal variability of winter semester surface air temperature in Antarctica. **Polar Research**, 30, 6039. 2011.