

Padrão Sazonal da Precipitação e Circulação na América do Sul Associado à Oscilação Decadal do Pacífico no Período 1970-2003 *Seasonal Precipitation and Circulation Pattern in South America Associated with the Pacific Decadal Oscillation in the 1970-2003 Period*

Bruna Simões Lima¹, Carlos Batista da Silva², Maria Elisa Siqueira Silva³

Recebido (Received): 15/04/2018

Aceito (Accepted): 19/08/2018

¹ Universidade de São Paulo, São Paulo. bruna.simo.es.lima@usp.br

² Universidade de São Paulo, São Paulo. krlosbatist@gmail.com

³ Universidade de São Paulo, São Paulo. elisasiq@usp.br

Resumo: Vários estudos apontam que os padrões da temperatura da superfície do mar sobre os oceanos Pacífico e Atlântico contribuem para modular os padrões atmosféricos da América do Sul. As perturbações associadas à Oscilação Decadal do Pacífico, ODP, atingem toda a bacia oceânica e têm o potencial de impactar o clima de várias partes do globo. O presente estudo tem como objetivo caracterizar os padrões sazonais de circulação e precipitação sobre a América do Sul durante as fases negativa e positiva da ODP, entre 1970 e 2003, a partir dos dados da reanálise I do NCEP-NCAR e do *Global Precipitation Climatology Center*, GPCC. Durante a fase negativa da ODP, ocorre a intensificação dos aliseos sobre o nordeste da América do Sul e do escoamento de norte, na região central do continente, sendo estes processos mais intensos durante a estação chuvosa, do que na estação seca. Durante a fase positiva da ODP, ocorre o enfraquecimento dos aliseos no nordeste da América do Sul e do escoamento de norte, mas, ainda assim, o impacto climático durante a estação chuvosa é mais intenso do que na estação seca. Os dados de precipitação do GPCC indicam que durante a fase negativa da ODP ocorrem anomalias negativas de precipitação sobre o centro-leste da América do Sul e anomalias positivas sobre a região sudeste. Durante a fase positiva da ODP, o padrão de anomalias de precipitação se inverte.

Palavras-Chave: Reanálise I NCEP-NCAR; GPCC; Anomalias; Aliseos.

Abstract: Several studies have pointed out that sea surface temperature patterns on the Pacific and Atlantic oceans contribute to modulate the atmospheric patterns of South America. The disturbances associated with the Pacific Decadal Oscillation, PDO, reach the entire ocean basin and have the potential to impact the climate of various parts of the globe. In this paper, we sought to characterize the seasonal patterns of circulation and precipitation over South America during the negative and positive phases of the PDO between 1970 and 2003, based on data from the NCEP-NCAR reanalysis I and the Global Precipitation Climatology Center, GPCC. During the negative phase of the PDO, there is an intensification of the trade winds over the northeast of South America and of the northern flow in the central region of the continent, these processes being more intense during the rainy season than in the dry season. During the positive phase of the PDO, there is a weakening of the trade winds in northeastern South America and the northern outflow, but the climatic impact during the rainy season is still more intense than in the dry season. Precipitation data from the GPCC indicate that during the negative phase of the PDO negative precipitation anomalies occur over the center-east of South America and positive anomalies on the southeast region. During the positive phase of the PDO, the pattern of precipitation anomalies is the opposite.

Keywords: Reanalysis I NCEP-NCAR; GPCC; Anomalies; Trade Winds.

1. Introdução

O clima global sofre grande influência dos fenômenos observados na bacia do Oceano Pacífico, dada a sua dimensão em relação à superfície terrestre. O oceano tem um papel importante na modulação do clima principalmente devido a suas escalas características de variação, mais longas do que as continentais, que determinam os processos dinâmicos e termodinâmicos envolvidos na complexa interação com a atmosfera (KAYANO & GERÓLAMO, 2009). O presente estudo visa verificar a associação sazonal da Oscilação Decadal do Pacífico sobre o clima da América do Sul, área continental adjacente ao Pacífico Sul. Para abranger fases distintas da ODP, analisamos uma série temporal de 33 anos, de 1970 a 2003, considerando dados de precipitação e de vento, de forma a caracterizar a circulação atmosférica sobre a América do Sul (AS). Considerando-se a

variabilidade da precipitação em baixa frequência, vários estudos têm indicado a associação entre o clima de algumas regiões da América do Sul e a Oscilação Decadal do Pacífico. Mo e Ghil (1987) mostram perturbações climáticas na América do Sul associadas à propagação de ondas de Rossby no Pacífico Sul. Mantua et al. (1997) descreveram a ODP como uma oscilação da temperatura da superfície do mar semelhante à oscilação associada aos eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS), com duas fases, quente e fria, porém de longa duração. Molion (2005) mostrou que existe uma coincidência entre as fases da ODP e a variabilidade da temperatura média global. Mo e Nogués-Paegle (2001) mostraram padrões característicos de circulação atmosférica sobre o Pacífico Sul e a América do Sul sem se aterem, contudo, à escala decadal. Minobe (1997), Mantua (1999) e Mantua e Hare (2002) associaram os períodos 1970-1977 e 1997-2003 à fase negativa da ODP e, 1978-1996 à fase positiva. Silva e Silva (2016) indicaram a associação entre oscilações de baixa frequência sobre o Pacífico e padrões característicos de circulação sobre a AS. Os resultados apresentados por Silva et al. (2016) mostram a anomalia climática média anual na América do Sul associada à atuação da ODP durante as duas últimas fases negativas (1970-1976; 1997-2003) e a última fase positiva (1977-1996). No presente estudo, propomos a análise das características climáticas durante as mesmas fases da ODP consideradas em Silva et al. (2016), porém, com enfoque na escala sazonal. A análise da atmosfera no decorrer de um longo período permite verificar questões relacionadas às alterações climáticas e a seus impactos diretos e indiretos no estrato geográfico em que habitam os homens.

2. Materiais e Métodos

A caracterização climática da circulação atmosférica da América do Sul e oceano Pacífico foi realizada com base nos dados mensais de vento, em 850 hPa, do conjunto de dados da reanálise I do NCEP-NCAR (Kalnay et al., 1996). A caracterização climática da precipitação na América do Sul foi realizada com os dados mensais compilados pelo *Global Precipitation Climatology Center* – GPCC (Schneider et al., 2011). O índice mensal de Oscilação Decadal do Pacífico (Zhang et al., 1997) usado para a caracterização da ODP foi obtido no site da NOAA, *National Oceanic & Atmospheric Administration* (www.esrl.noaa.gov).

Os conjuntos de dados analisados possuem as seguintes resoluções espaciais: NCEP-NCAR, 2,5 graus; GPCC, 1,0 grau (ADLER *et al.*, 2003). A análise da evolução temporal, entre 1970 e 2003, das variáveis atmosféricas sobre a América do Sul foi realizada com base no cálculo dos valores médios e anomalias para os subperíodos 1970-1976, 1977-1996 e 1997-2003, anteriormente classificados, respectivamente, pelas fases negativa, positiva e negativa da ODP (Silva et al., 2016). Os dados avaliados foram: componentes zonal e meridional do vento ($m\ s^{-1}$) em 850 hPa e precipitação em superfície. Estes dados foram lidos e tratados estatisticamente com o auxílio do software *Grid Analysis and Display System* (GrADS), de forma a definir a climatologia de análise referente ao período total, 1970-2003, e, os desvios em relação a esta climatologia para os subperíodos considerados. Os cálculos de média e anomalia de cada subperíodo foram realizados com o auxílio do programa *Climate Data Operator* (CDO) (usado em sistema Linux). O recorte da série temporal para cada fonte de dado também foi realizado com o CDO.

A tendência linear de longo prazo e a sazonalidade de todos os dados aqui considerados foram retiradas. A remoção da tendência linear permite, de certa forma, analisar a variabilidade natural do clima. Os dados foram analisados através de mapas e gráficos de anomalias médias nas escalas anual e sazonal, a fim de se verificar a variabilidade climática sobre a América do Sul observada nas três fases consideradas da Oscilação Decadal do Pacífico.

3. Resultados e Discussões

Em uma análise aprofundada da circulação atmosférica da AS foram observados comportamentos diferentes nos três subperíodos analisados, 1970-1976, 1977-1996 e 1997-2003 para o vento em 850 hPa sobre o Pacífico Sul e América do Sul. Grande parte da América do Sul apresenta sua estação seca entre os meses de abril a setembro e a estação chuvosa entre os meses de outubro a março. Com o objetivo de se determinar se alguma das estações do ano sofre maior influência da ODP, procedeu-se à análise dos campos anômalos para períodos secos e úmidos. De forma a simplificar a análise, adotou-se os meses de abril a setembro (AMJJAS) como estação seca e os meses de outubro a março (ONDJFM) como estação chuvosa. A frequência ou intensidade de anomalias anticiclônicas (ciclônicas), associa-se a movimentos anômalos subsidentes (ascendentes) do ar e a períodos mais secos (chuvosos). A análise da anomalia dos ventos pode indicar a preponderância de condições climáticas secas e chuvosas em períodos específicos.

Embora o valor médio da anomalia sazonal das componentes zonal e meridional do vento seja constituído por contribuições com o mesmo sinal referente às duas estações do ano (seca e chuvosa), a análise sazonal permite verificar que os períodos chuvosos (ONDJFM) contribuem mais para a média anual do que os períodos secos (AMJJAS), nos três subperíodos analisados. Mapas da diferença entre a anomalia do período chuvoso e seco em relação à anomalia média de cada subperíodo (não mostrados aqui) mostram que, de fato, são sempre os meses chuvosos (ONDJFM) os mais importantes para determinar o padrão da anomalia média anual dos subperíodos. Assim, nas três fases consideradas da ODP, verificou-se a intensificação do escoamento de norte, em 850 hPa, no centro da América do Sul, durante a estação chuvosa e seu enfraquecimento durante a estação seca. Este aspecto certamente interfere na intensidade do jato de baixos níveis, levando mais ou menos umidade para regiões mais ao sul da América do Sul (MARENGO, 2004).

Todo o setor leste da América do Sul sofre a influência dos alísios de sudeste e de nordeste, de acordo com o padrão climático predominante (Cavalcanti et al., 2009). A intensificação e o enfraquecimento dos ventos de leste sobre o nordeste da América do Sul durante as fases negativa e positiva da ODP, respectivamente, contribuem para a modulação do padrão de chuvas na América do Sul na escala decenal. A variação decadal de intensidade dos ventos de norte da região Amazônica, que carrega ar úmido para o centro e sul da América do Sul, também contribui para a definição do padrão de chuvas nesta escala temporal (MARENGO, 1991). Os resultados da anomalia média sazonal das componentes zonal e meridional do vento, para cada subperíodo considerado, estão ilustrados nas **Figuras 1 e 2**.

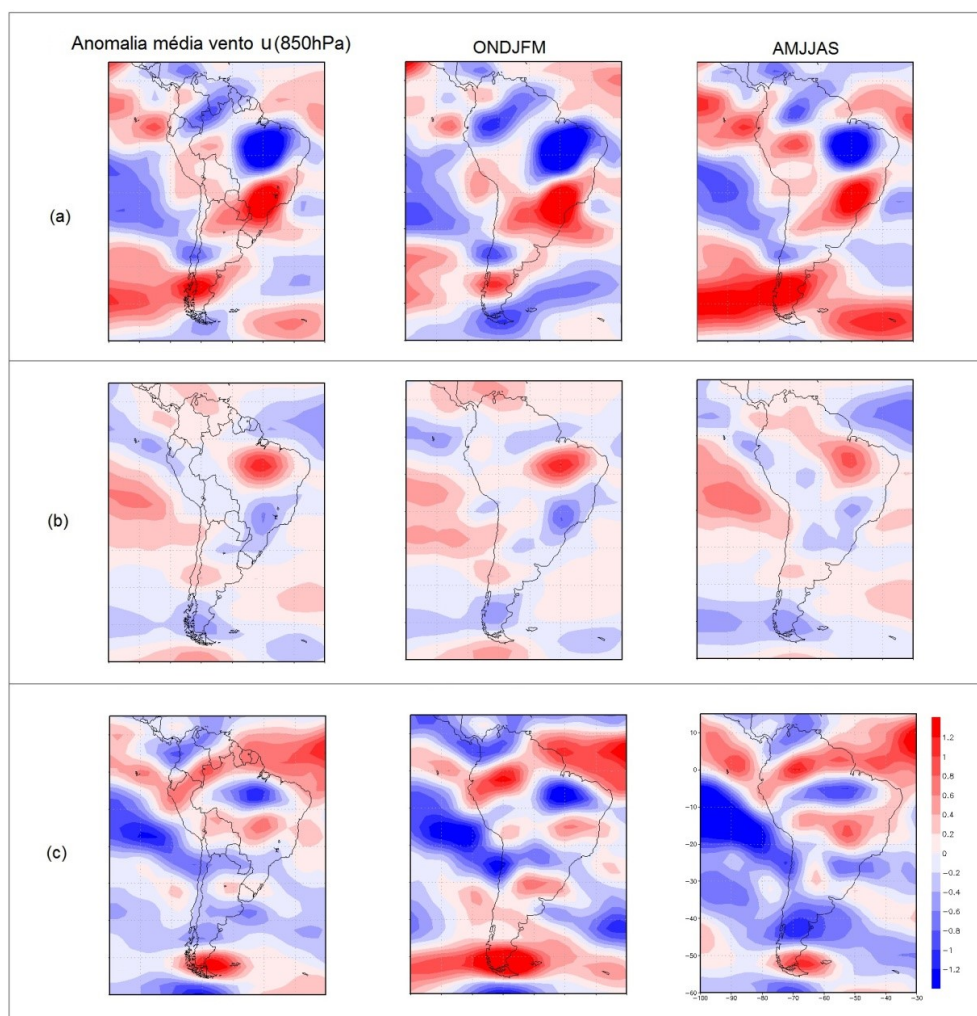


Figura 1: Anomalia média anual (1ª coluna) da componente zonal do vento (m s^{-1}), em 850 hPa, para as estações chuvosa (ONDJFM) (2ª coluna) e seca (AMJJAS) (3ª coluna), para os subperíodos (a) 1970-1976, (b) 1977-1996 e (c) 1997-2003, para a reanálise I do NCEP-NCAR.

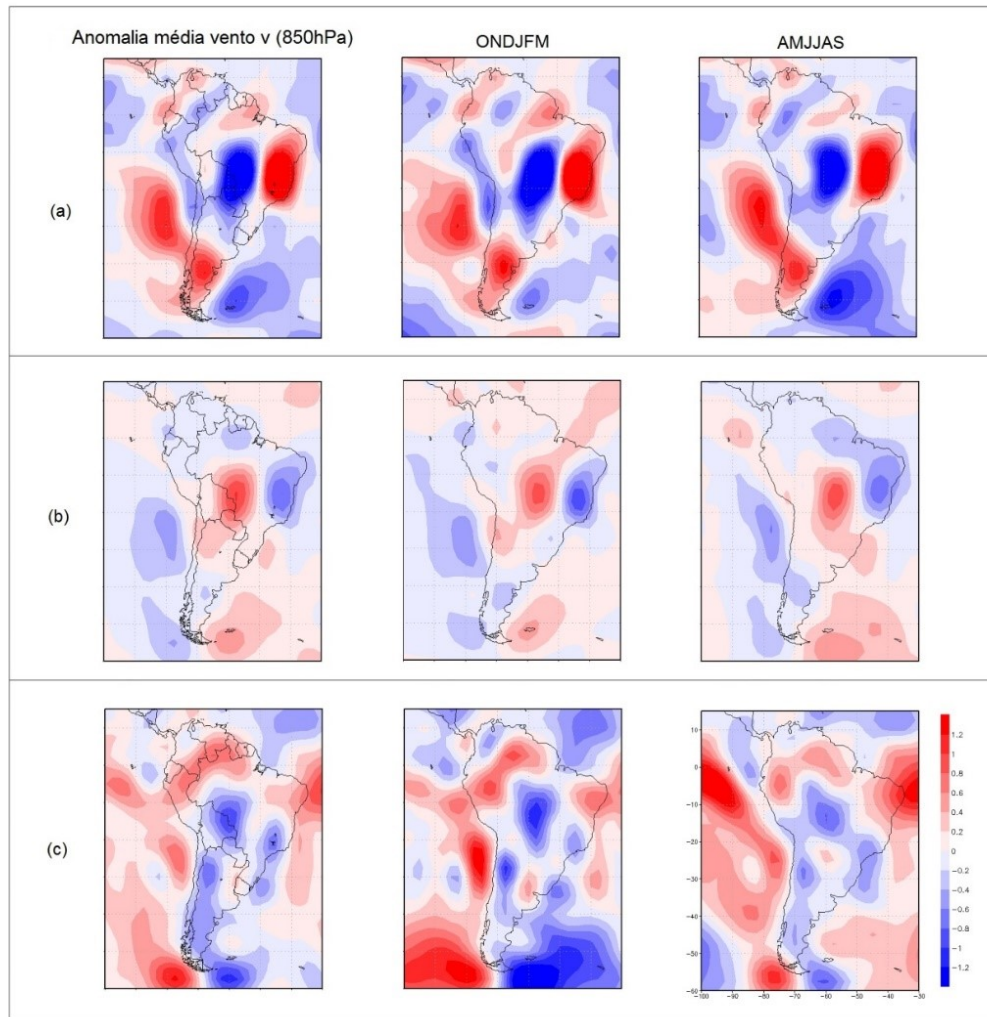


Figura 2: Anomalia média anual da componente meridional do vento ($m s^{-1}$) (1ª coluna), em 850 hPa, para a estação chuvosa (2ª coluna) e seca (3ª coluna), para os subperíodos (a) 1970-1976, (b) 1977-1996 e (c) 1997-2003, para a reanálise I do NCEP-NCAR.

Com as anomalias das componentes zonal e meridional do vento em 850 hPa, verifica-se, nas fases negativas da ODP (1º e 3º subperíodos), anomalia anticiclônica com centro no leste da região central da AS (**Figuras 3a, c**) e, na fase positiva (2º subperíodo), anomalia ciclônica (**Figura 3b**). Este padrão foi também encontrado por Silva *et al.* (2016), onde os autores avaliaram as anomalias de circulação em baixos e altos níveis.

A anomalia média da precipitação em cada subperíodo considerado indica padrões espaciais importantes nas fases positiva e negativa da ODP, mais significativos no setor leste da América do Sul (**Figura 4**). Este padrão é caracterizado por anomalias de precipitação com sinais contrários entre o centro-leste e o sudeste da América do Sul, nas fases positiva e negativa da ODP. A fase negativa (1º e 3º subperíodos) é caracterizada por anomalias negativas de precipitação no setor centro-leste (área B1) e anomalias positivas no Sudeste (área B2) da AS (**Figuras 4a, c**), enquanto que a fase positiva (2º subperíodo) é caracterizada pelo padrão inverso (**Figura 4b**), formando um dipolo espacial durante as fases opostas da ODP.

A variação da anomalia da precipitação entre as estações secas e chuvosas do ano, tal como mostrado na **Figura 5**, indica que as estações chuvosas contribuem mais que as estações secas para determinar a anomalia média anual. Da mesma forma que para o vento, a análise da série temporal da anomalia da precipitação média anual e as relativas aos períodos secos e chuvosos devem contribuir para a definição mais precisa do período anual em que a ODP mais influencia o clima da AS, em particular seu setor leste.

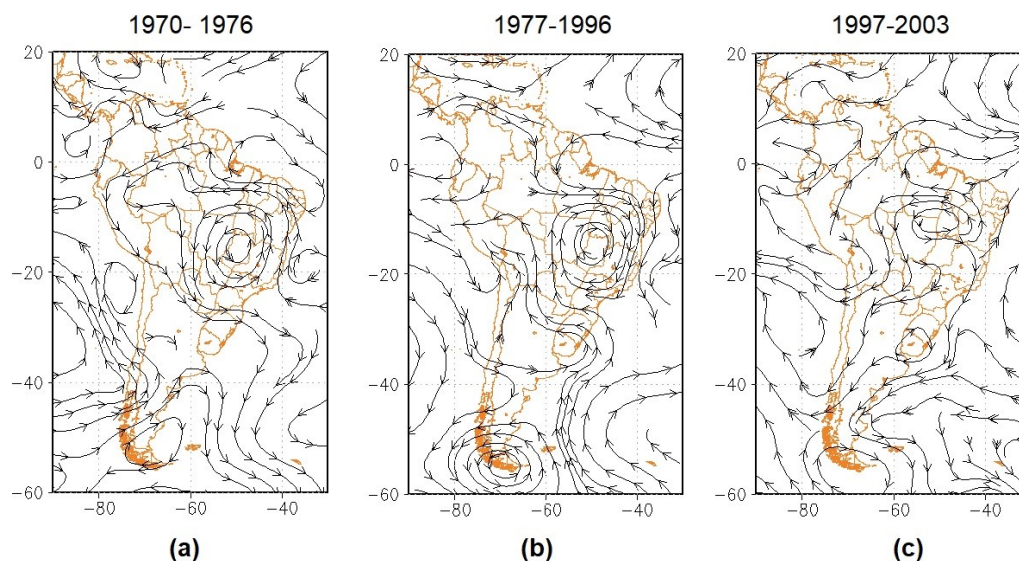


Figura 3: Anomalia da corrente do vento (m s^{-1}), em 850 hPa, para os três subperíodos da ODP considerados, (a) 1970-1976, (b) 1977-1996, (c) 1997-2003, para dados da reanálise I do NCEP/NCAR.

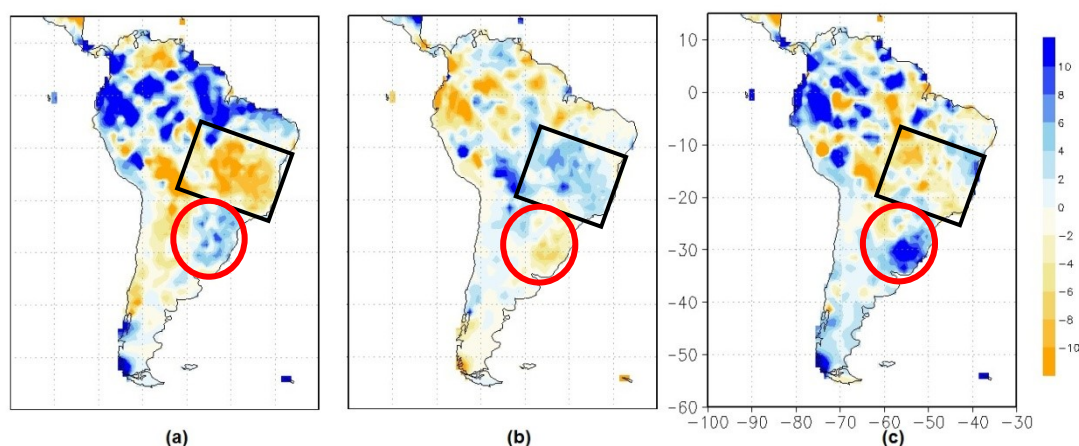


Figura 4: Anomalia média anual da precipitação (mm dia^{-1}) do GPCP, para os períodos 1970-1976, 1977-1996 e 1997-2003. As áreas delimitadas com um retângulo preto (B1) e com um círculo vermelho (B2) compõem aproximadamente o dipolo espacial do padrão da anomalia de precipitação proposto para a escala decadal.

A evolução mensal da anomalia de vento e precipitação para áreas em que são identificadas as anomalias mais significativas indica com maior precisão os períodos em que a América do Sul apresenta a influência da ODP no período de 1970 a 2003.

A anomalia média da precipitação do GPCP nas áreas B1 e B2 da **Figura 4** foi usada para se verificar a associação da precipitação com a ODP. Observa-se, na **Figura 6**, que a variabilidade temporal da anomalia da precipitação na área B1 aproxima-se da variabilidade da ODP, com valores negativos no 1º e 3º subperíodos e valores positivos no 2º subperíodo, enquanto que na área B2, é observado o padrão contrário, contudo, com menores valores de anomalia. Ou seja, esta análise temporal corrobora o resultado anterior mostrado na **Figura 4**, que indica a possível influência maior da ODP na área B1 em relação à área B2.

Para a área centro-leste da AS (B1), a anomalia mais intensa de precipitação ocorre nos meses chuvosos em relação aos meses secos. Para a área sudeste da AS (B2), as anomalias mais intensas parecem ocorrer nos meses secos. Interpretações mais conclusivas sobre o período do ano mais influenciado pela ODP podem ser obtidas com uma análise similar mas para um conjunto de dados de precipitação adicional, além de analisar a variabilidade mensal da precipitação.

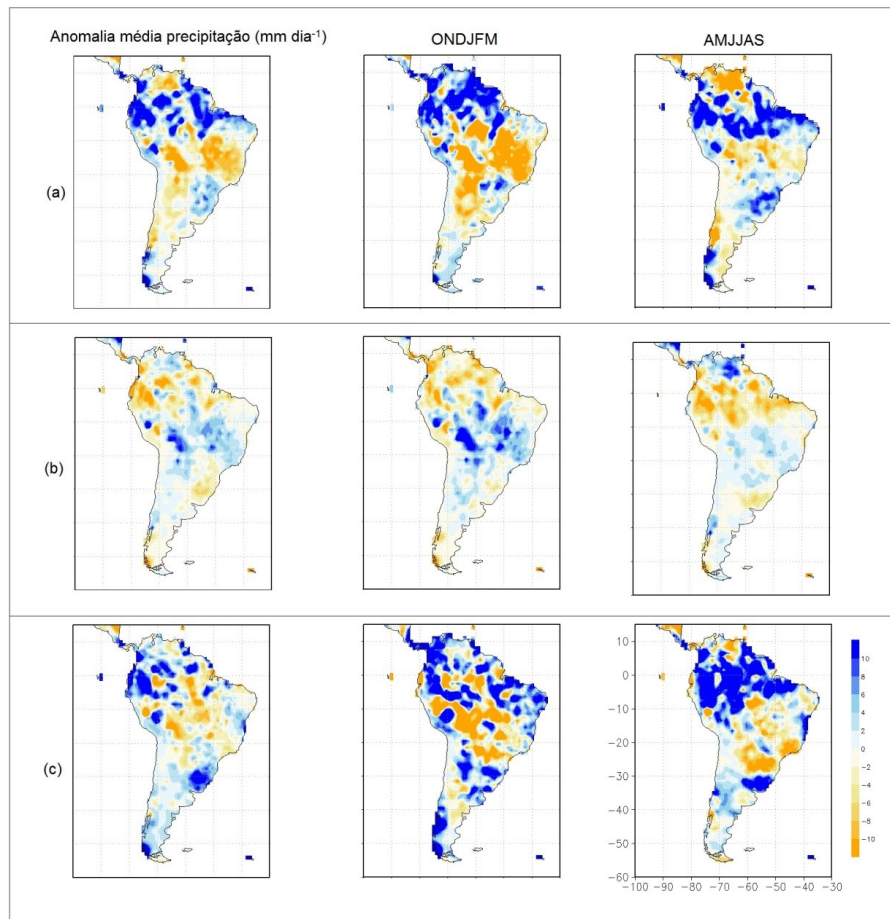


Figura 5: Anomalia média da precipitação (mm dia⁻¹) (1ª coluna) para os subperíodos (a) 1970-1976, (b) 1977-1996 e (c) 1997-2003) e para a estação chuvosa (2ª coluna) e seca (3ª coluna), a partir de dados do GPCC.

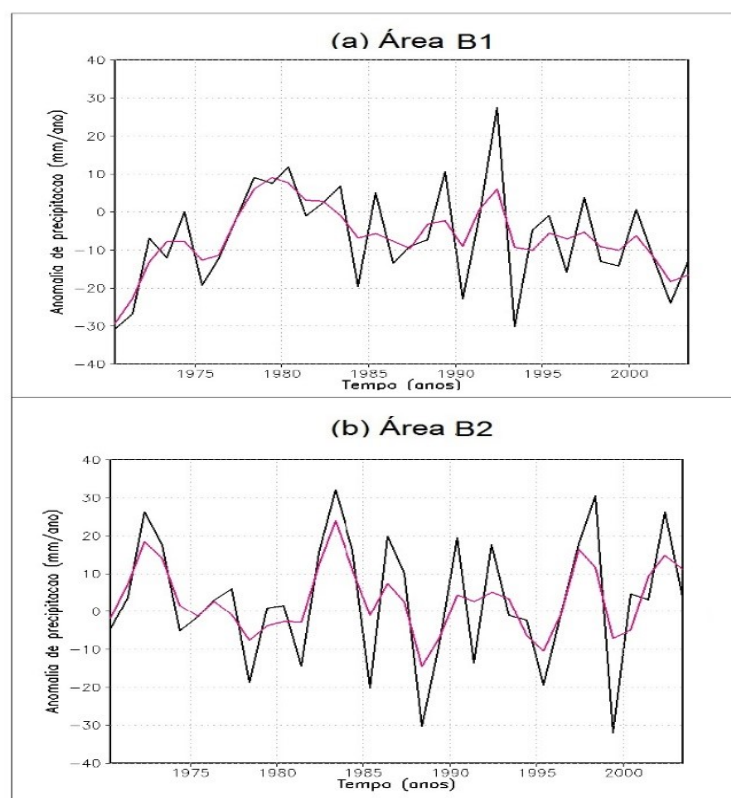


Figura 6: Anomalia anual de precipitação em relação à série temporal 1970-2003, para a (a) Área B1 e (b) Área B2, para dados da reanálise I do GPCC. A curva rosa indica a suavização dos dados originais por média móvel com janela de nove anos.

4. Conclusões

Este trabalho buscou investigar a associação entre a variabilidade climática decadal do Oceano Pacífico, a Oscilação Decadal do Pacífico, e padrões climáticos na América do Sul, com ênfase nas diferenças sazonais. Embora os resultados de correlação linear entre ODP e precipitação mensal na América do Sul produzam um padrão com sinais contrários entre o norte e o centro-sul do continente, com valores relativamente baixos, a aplicação da Análise de Componentes Principais a dados de precipitação (Silva et al., 2016) mostrou que há um padrão de dipolo no setor centro-leste da América do Sul com inversão de sinais em fases contrárias da ODP. Mo e Paegle (2001) identificaram padrões contrários da anomalia da circulação atmosférica sobre o Oceano Pacífico e sobre a América do Sul entre 1949 e 2000.

Silva et al. (2016), usando dados mensais da reanálise I do NCEP-NCAR observaram que as fases negativas e positivas da ODP estão associadas a anomalias anticiclônicas e ciclônicas centradas no setor leste da América do Sul. Neste estudo, focando nas análises sazonais, observou-se que as anomalias de circulação são mais intensas durante a estação chuvosa (outubro-março), característica de grande parte da América do Sul, enquanto que a estação seca (abril-setembro) apresenta valores menos intensos. Assim, durante os meses chuvosos das fases negativas da ODP, o escoamento de norte, proveniente da região norte da América do Sul, é mais intenso. Durante os meses chuvosos da fase positiva da ODP a anomalia de norte é menos intensa.

Observou-se anomalia média ciclônica em baixos níveis na região central da AS, indicando enfraquecimento e intensificação dos aliseos no nordeste e sudeste da América do Sul. Este padrão está associado a anomalias positivas e negativas da precipitação no nordeste e sudeste da AS, respectivamente. Durante as fases negativas da ODP, há uma intensificação dos aliseos no nordeste da América do Sul e do escoamento de norte no centro do continente. Este escoamento de norte para as regiões sul e sudeste, contribui, em alguma medida, para a remoção de umidade da faixa centro-leste da AS (delimitada pelo retângulo na **Figura 3**). A região a sudeste na AS, por outro lado, apresenta anomalias positivas de precipitação nas fases negativas da ODP. A anomalia média de precipitação a nordeste e sudeste da AS (nas áreas B1 e B2, **Figura 3**) formam um padrão de dipolo no setor leste da AS durante fases contrárias da ODP.

Considerando o impacto climático bipolar da precipitação no centro-leste da América do Sul, é possível identificar maior influência da ODP na região nordeste em relação à região sudeste da América do Sul. Em estudos futuros há a necessidade de identificação dos eventos ENOS ocorridos em cada fase da ODP, os padrões atmosféricos característicos e a sugestão de como estes eventos influenciam o sinal médio da ODP na América do Sul. Da mesma forma que para o vento, a análise da série temporal da anomalia da precipitação média anual deve contribuir para a definição mais precisa dos períodos em que a ODP influenciou o clima do setor leste da América do Sul.

REFERÊNCIAS

- ADLER, R. F.; HUFFMAN, G. J.; CHANG A.; FERRARO, R.; XIE P.; JANOWIAK J.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; CURTIS, S.; BOLVIN, D.; GRUBER, ARNOLD.; SUSSKIND, J.; ARKIN, P.; NELKIN, E. The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, p.1147-1167, 2003.
- BJERKNES, J. Atmospheric teleconnections from the Equatorial Pacific. **Mon Weather Rev** 97, p.163–172, 1969.
- CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; DIAS, M.A.F.S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- DUCHON, C.E. Lanczos Filtering in One and Two Dimensions. **Journal of Applied Meteorology**. V. 18, p. 1016-1022, 1979.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. **Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
- GEROLAMO, R. O. P.; KAYANO, M. T. Variações do ciclo anual da temperatura da superfície do mar no Pacífico tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia** (Impresso), v. 25, p. 237-247, 2009.
- HOREL, J.D, WALLACE, J.M. Planetary-Scale Atmospheric Phenomena Associated with the Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**. V. 109, pp. 813-828, 1981.

- KAROLY, D. Southern Hemisphere Circulation Features Associated with El Niño- Southern Oscillation Events. **American Meteorology Society**. v.2. p.1239-1252, 1989.
- LATIF, M., & BARNETT, T. P. Causes of decadal climate variability over the North Pacific and North America. **Science**, 266(5185), p. 634-637, 1994.
- KAROLY, D.L. The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. **Journal of Atmospheric Science** v.38, p.1179–1196, 1981.
- MANTUA, N.J. The Pacific decadal oscillation and climate forecasting for North America. **Climate Risk Solutions**. v.1(1) p.10–13, 1999.
- MANTUA, N.J., HARE, S.R. The Pacific Decadal Oscillation. **JOceanogr** v.58, p.35–44, 2002.
- MANTUA, N. J., HARE, S. R., ZHANG, Y., WALLACE, J. M., & Francis, R. C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78(6), p.1069-1079, 1997.
- MARENGO, J. A. Extreme climatic events in the Amazon Basin and their associations with the circulation of the global tropics. Ph. D. Thesis, **Department of Meteorology, University of Wisconsin-Madison**, 147 pp., 1991.
- MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and applied climatology**, v. 78, p. 79-96, 2004.
- MINOBE, S. A50-70 year climatic oscillation over the North Pacific and North America. **Geophys Res Lett** v.24 p.683–686, 1997.
- MO, K.C., GHIL, M. Statistics and dynamics of persistent anomalies. **Journal of Atmospheric Sciences**. v.144, p.808–823, 1987.
- MO, K. C., & PAEGLE, J. N. The Pacific–South American modes and their downstream effects. **International Journal of Climatology**, v.21(10), p.1211-1229, 2001.
- MOLION, L.C.B. Aquecimento Global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico. **Revista Climanálise**, Ano 3, Nº 1, p. 1 – 5, 2005.
- SILVA, M.E.S.; SILVA, C.B. Influência da Oscilação Decadal do Pacífico e do padrão Pacific South America no clima da América do Sul para o período de 1970-2003. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 12 – v. 19, p. 20-35, Jul/Dez 2016.
- SILVA, C.B.; SILVA, M.E.S.; AMBRIZZI, T. Climatic variability of river outflow in the Pantanal region and the influence of sea surface temperature. **Theoretical Applied Climatology**, v. 129, p.97-109, Julho/2017.
- ZHANG, Y.; WALLACE, J.M; BATTISTI, D.S. ENSO-like Interdecadal Variability: 1900-93. **Journal of Climate**, v. 10, p. 1004-1020, 1997.