

Impacto das fases da ODP nas relações entre o ENOS e as anomalias de TSM no Atlântico Sudoeste

Mári Andrea Feldman Firpo¹, Clóvis Angeli Sansigolo¹

¹Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).
Av. dos Astronautas, 1758 - Jd. da Granja, São José dos Campos – SP, Brasil. mari.firpo@cptec.inpe.br.

RESUMO: O presente estudo investiga a influência dos eventos de El Niño e La Niña sobre as anomalias de TSM no Atlântico Sudoeste, considerando-se as fases da Oscilação Decenal do Pacífico (ODP), padrão de baixa frequência associado à variabilidade do ENOS. Tabelas de contingência 3x3, reduzidas para 2x2, avaliadas pelo escore ROC, foram usadas para avaliar as relações das fases extremas do ENOS com os tercís de TSM no Atlântico Sudoeste (ATSW), em compostos de ODP. A análise foi sazonal, para considerar as diferentes fases do ENOS e simultânea e defasada de até 12 meses. No verão (DJF), fase madura do evento, assim como no outono (MAM), fase de decréscimo, o El Niño lidera a ocorrência de ATSW acima da normal por 3 meses, já a La Niña lidera a ocorrência de ATSW abaixo da normal por 6 meses nesses mesmos períodos do ano. Em ambos os casos, o ROC chega a 0,6 e seus valores são superiores para o El Niño. Na primavera, fase típica de desenvolvimento do ENOS, os maiores escores são obtidos com defasagem de 9 meses para ambos eventos. Nota-se um maior impacto da ODP na sua fase fria e sua é menos evidente no inverno austral (JJA). Assim, não se pode avaliar a influência do ENOS sobre o ATSW sem se considerar as fases da ODP. Os resultados também ressaltam as diferenças entre os eventos de El Niño e La Niña, que não tem impactos exatamente anti-simétricos.

1. Introdução

O modo mais importante de variabilidade interanual do sistema oceano-atmosfera é o El Niño Oscilação Sul – ENOS (KILARDS E MO,1998) cujos efeitos são observados em escala global e alteram o regime pluviométrico e térmico em diversas regiões (ROPELEWSKI E HALPERT, 1987; KILARDS E DIAZ, 1989). As fases do ENOS também estão associadas com as anomalias de TSM no Atlântico Sudoeste (ATSW). ATSW acima (abaixo) das normais estão significativamente associadas com eventos de El Niño (La Niña), simultaneamente e com defasagens de até 12 meses (FIRPO E SANSIGOLO, 2009a). O ENOS também é modulado por padrões climáticos de baixa frequência (ANDREOLI E KAYANO, 2005). Em meados da década de 90, pesquisadores identificaram e descreveram um padrão dominante relacionado temporal e espacialmente ao ENOS (ZHANG et al.,1997), denominado Oscilação Decenal do Pacífico (ODP) (MANTUA et. al.,1997). Segundo Newman et al. (2003), há uma forte relação entre o ENOS e a ODP, devido a uma modulação interdecenal nas diferentes bandas de frequência de cada índice. Verdon e Franks (2006), analisando dados paleoclimáticos dos últimos 400 anos, verificaram que a frequência da ODP é similar à observada no século 20 e que as fases positivas (negativas) da ODP estão associadas com um aumento na frequência relativa de eventos El Niño (La Niña). Valores positivos (negativos) da ODP estão significativamente correlacionados com número de casos de El Niño (La Niña) em todos os períodos do ano, com persistência de até 12 meses. Mas também existem relações significativas com defasagens negativas, isto é, com ENOS precedendo a ODP de 3 a 12 meses (FIRPO E SANSIGOLO, 2009b). Assim, a ODP não controla fisicamente o ENOS, mas os dois fenômenos interagem mutuamente e, portanto, não podem ser considerados independentes.

O objetivo desse trabalho foi investigar as relações sazonais, simultâneas e defasadas, entre os eventos ENOS e as ATSW, considerando as diferentes fases da ODP, usando tabelas de contingência 3 x 3 avaliadas pelo escore ROC.

2. Metodologia

Para a realização deste estudo foram utilizados dados mensais de TSM reconstruídas e estendidas por Smith et al. (2008) – versão 3, com resolução espacial de 2° x 2°, e dados mensais do índice da ODP, calculado por Mantua et al. (1997), disponíveis no sítio <http://www.jisao.washington.edu/datasets/ersst/#data>, ambos selecionados para o período de 1900-1999. Os eventos de El Niño e La Niña foram classificados pelo critério de Trenberth (1997), que consiste da seleção, a partir da região do Niño 3.4 (5°N–5°S, 120°W–170°W), de períodos cuja anomalia sazonal de TSM na área seja $\geq 0,4^{\circ}\text{C}$ (El Niño) ou $\leq -0,4^{\circ}\text{C}$ (La Niña). As ATSW foram também computadas sazonalmente, na região entre 10°S-40°S e 60°W-20°W e classificadas em tercís. As relações entre ENOS e ATSW, considerando as fases da ODP, foram analisadas a partir de tabelas de contingência 3 x 3 sazonais, como mostrado na tabela 1.

Tabela 1. Tabela de Contingência 3 x 3

ATSW	La Niña	Neutro	El Niño	Total
abaixo da normal	r	b-y-z	z	b
quase normal	r-x-y	n-r-s-b-a+x+y+z+t	s-z-t	n-b-a
acima da normal	x	a-x-t	t	a
Total	r	n-r-s	s	n

As relações entre ENOS e ATSW serão avaliadas através do cálculo das taxas de acerto (TA) e de falso alarme (FA) e, a partir destes, o escore ROC, um escore de destreza que varia de 0 a 1, onde 0 significa a independência entre as variáveis e 1, dependência total entre ambas. As tabelas de contingência 3 x 3 foram reduzidas a 2 x 2 considerando somente as relações entre os eventos extremos, como mostrado na tabela 2.

Tabela 2: Tabela de contingência 2 x2

ATSW	El Niño/LaNiña	
	Sim	Não
Abaixo	A	B
Acima	C	D

na qual $TA = A/(A + C)$ $FA = B/(B + D)$ e, supondo uma distribuição normal reduzida (z) de TA e FA (Wilks, 2005), $d = z(TA) - z(FA)$ e $ROC = 2 \cdot P(d) - 1$.

3. Resultados e Discussão

Verifica-se na figura 1 que tanto no verão (DJF), fase madura do evento, como no outono (MAM) austral, fase de decréscimo, o El Niño lidera a ocorrência de ATSW acima da normal por 3 meses, mas também observa-se uma relação simultânea e defasada de 6 meses entre essas TSM. Já a La Niña lidera a ocorrência de ATSW abaixo da normal por 6 meses nesse mesmo período do ano. Em ambos os casos, nota-se que o ROC máximo fica em torno de 0,6 e que os valores são maiores para El Niño do que para La Niña, isto é, o impacto do El Niño é maior. Em JJA, observa-se uma dependência entre a La Niña e ATSW com defasagem de 3 meses, isto é, a resposta do ATSW à La Niña durante os meses de inverno é menos demorada. Na primavera (SON), tanto a relação da La Niña como do El Niño com ocorrência de anomalias negativas e positivas no ATSW é menos intensa do que nos outros períodos do ano. Em ambos os casos, a defasagem também é maior, alcançando os mais altos valores de

ROC em 9 meses de defasagem para o caso da La Niña e de 6 a 9 meses para o El Niño. Esse também é o período em que os gráficos mostram maior semelhança, significando que tanto o resfriamento como o aquecimento do Pacífico geram respostas semelhantes de resfriamento e aquecimento no ATSW, porém com grande defasagem.

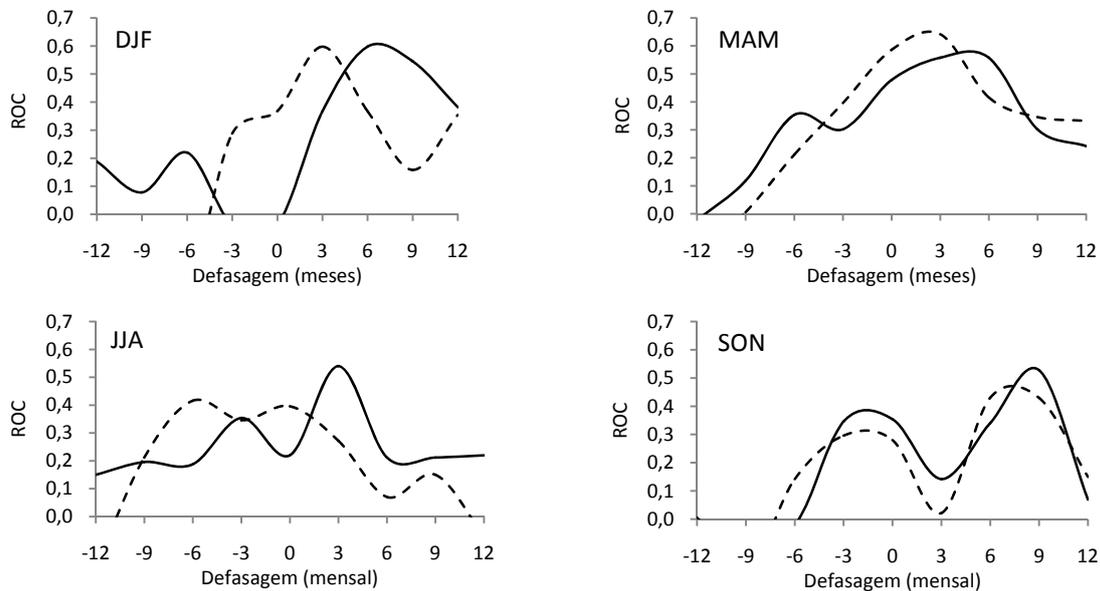


Figura 1 – Escores ROC, simultâneos e defasados, para as relações entre os eventos extremos de ENOS e as ATSW. As linhas tracejadas (sólidas) indicam relações entre El Niño (La Niña) e ATSW acima (abaixo) da normal.

A Figura 2 mostra os escores ROC para as relações sazonais, simultâneas e defasadas, entre La Niña e ATSW abaixo da normal para o período completo de estudo e para as diferentes fases da ODP. Nota-se que para DJF, MAM e SON os valores mais altos de ROC ocorrem nas fases frias da ODP, e os valores mais baixos, nas fases quentes. Para DJF e MAM, o valor mais alto de ROC na fase negativa da ODP ocorre com 3 meses de defasagem, enquanto na fase negativa ocorre com 9 meses para DJF e 6 meses para MAM. Já para SON, o mais alto valor de ROC ocorre para com 9 meses de defasagem, na fase fria da ODP. Diferentemente, em JJA, ocorrem valores mais altos de ROC na fase quente simultaneamente, enquanto para a fase fria ocorreu com 3 meses de defasagem.

A Figura 3 é semelhante à Figura 2, mostra comparativamente as relações entre El Niño e ATSW acima da normal para o período completo de estudo e para as diferentes fases da ODP. Nota-se, novamente, que os valores mais altos de ROC ocorrem para as fases frias da ODP. Neste caso, isso é verdadeiro para todas as estações do ano. Para DJF, assim como a La Niña, que lidera o resfriamento do ATSW na fase fria da ODP, o El Niño lidera o aquecimento por 6 meses, nessa mesma fase. Porém, na fase quente ao invés de ocorrer um atraso como no caso da La Niña, para o El Niño há um adiantamento, isso é, a relação é mais intensa para uma defasagem de 3 meses. Para o caso de MAM, há uma inversão. Na fase fria da ODP o El Niño lidera o ATSW por 3 meses, enquanto que na fase quente, o ATSW lidera o El Niño por 3 meses. Para JJA, entre as defasagens -9 e 9 meses as curvas com valores de ROC não apresentam muitas diferenças, mas, em geral, na fase negativa da ODP os valores são mais altos na fase fria e mais baixos na fase quente. Em SON, basicamente, na fase fria, o El Niño lidera o aquecimento do ATSW por até 9 meses. Na fase quente, por outro lado, essa relação é muito baixa.

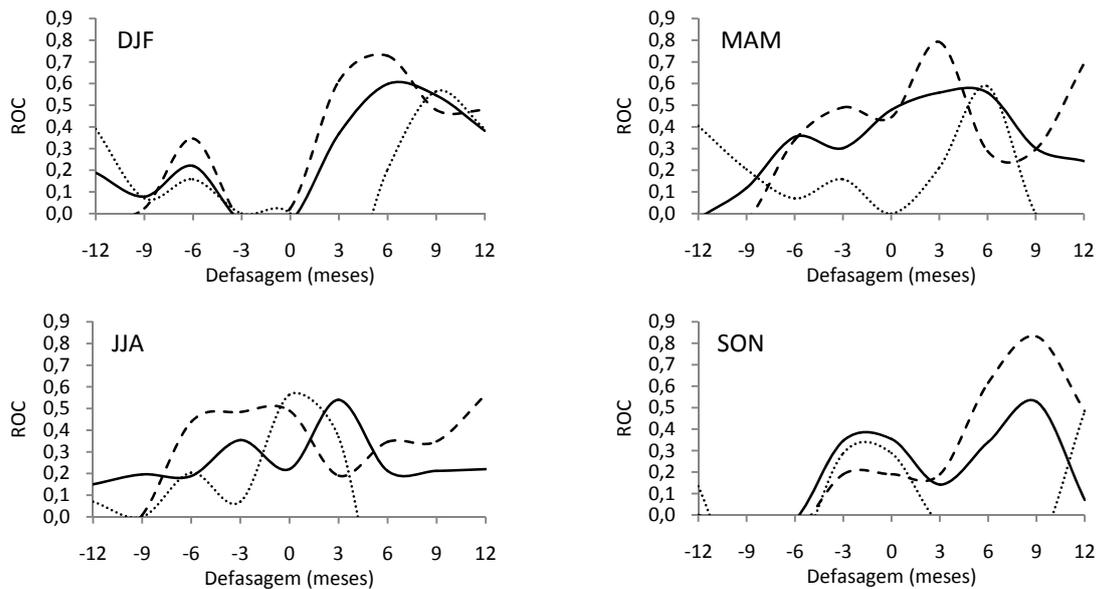


Figura 2 – Escore ROC sazonais, simultâneos e defasados, para as relações entre La Niña e as ATSW acima da normal. As linhas sólidas referem-se ao período completo de estudo (1880-2009), as linhas tracejadas, às fases frias da ODP (1900-1924, 1947-1976) e as linhas pontilhadas, às fases positivas da ODP (1925-1946, 1977-1999).

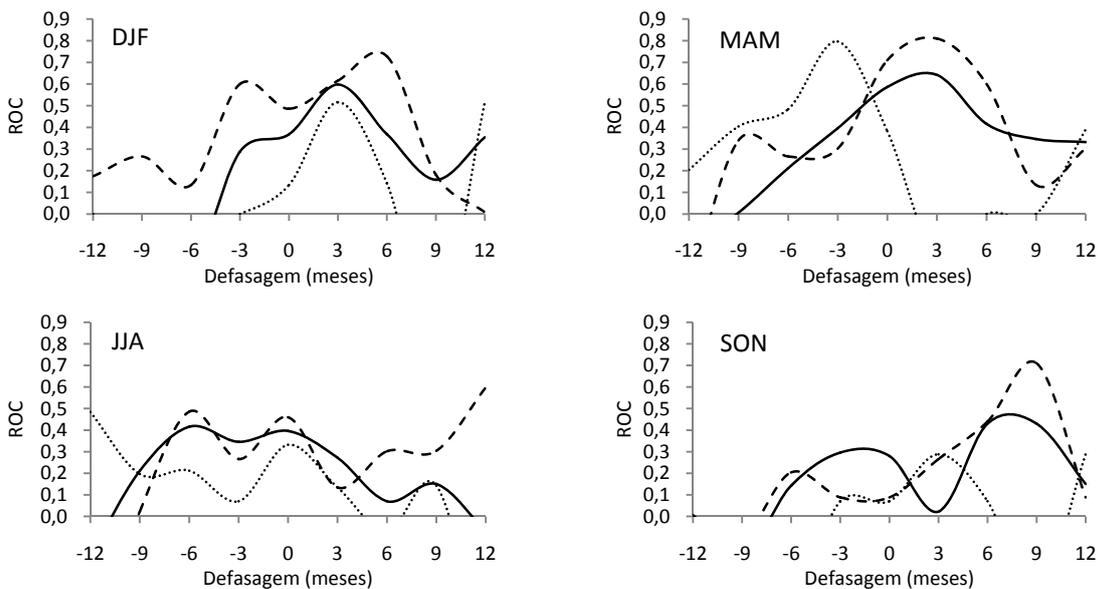


Figura 3 – Escores ROC sazonais, simultâneos e defasados, para as relações entre El Niño e as ATSW abaixo da normal. As linhas sólidas referem-se ao período completo de estudo (1880-2009), as linhas tracejadas, às fases frias da ODP (1900-1924, 1947-1976) e as linhas pontilhadas, às fases positivas da ODP (1925-1946, 1977-1999).

4. Conclusão

No verão e outono austral (DJF, MAM), a resposta do ATSW quando há esfriamento das águas do Pacífico equatorial é, além de menos intensa, mais lenta (6 meses) do que quando há o aquecimento do mesmo (3 meses). Já nos meses de inverno (JJA), o impacto do aquecimento do Pacífico nas águas do ATSW diminui, enquanto o esfriamento mantém sua influência sendo, inclusive, menos lenta a resposta do ATSW a esta (3 meses). Na primavera, ambos as relações se mostram menos intensas e a resposta se mostra ainda mais lenta. Quanto às diferenças entre essas relações considerando as fases positiva e negativa da ODP, nota-se para o caso da influência da La Niña que, para os períodos mais quentes do ano (de SON, DJF

e MAM) os valores mais altos de ROC ocorrem nas fases frias da ODP, e os valores mais baixos, nas fases quentes. Para os meses mais quentes, o maior ROC na fase negativa da ODP ocorre com menor defasagem do que na fase positiva. Já no inverno (JJA), os maiores ROC ocorrem na fase quente simultaneamente, enquanto para a fase fria ocorreu com 3 meses de defasagem. Para a fase quente, também ocorrem ROC negativos, o que significa que é muito baixa a probabilidade da ocorrência da La Niña implicar em baixos valores de ATSM no ATSW, podendo até mesmo ser inversa essa relação. Para o El Niño também nota-se mais altos ROC nas fases frias da ODP para todas as estações do ano. Na estação quente, o El Niño lidera o aquecimento por 6 meses. Porém, na fase quente esta relação é mais intensa para uma defasagem de 3 meses. Na fase quente, como no caso da La Niña, também aparece correlação baixa com mudança de sinal do ROC. Em ambos os casos, as diferenças entre as relações para as fases positivas e negativas da ODP são menos evidentes nos meses correspondentes ao inverno no hemisfério sul. A ODP, quando na fase fria, intensifica os sinais de correlação entre ENOS e ATSW. Assim, não se pode avaliar as relações entre o ENOS e as ATSW sem se considerar a influência das fases da ODP. Os resultados também evidenciam as diferenças entre o comportamento das La Niñas e dos El Niños, enfatizando que estes não são fenômenos com impactos exatamente anti-simétricos.

5. Referência Bibliográfica

- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific decadal oscillation regimes. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 2017-2030, 2005.
- FIRPO, M.A.F.; SANSIGOLO, C.A. Variabilidade Interanual das TSM no Atlântico Sudoeste associada com as fases de El Niño/Oscilação Sul. In: Simpósio Internacional de Climatologia, 3, 2009 a, Canela, RS. **Anais...** CD-ROM a.
- FIRPO, M.A.F.; SANSIGOLO, C.A. Relações entre a Oscilação Decenal do Pacífico e eventos El Niño / Oscilação Sul. In: Simpósio Internacional de Climatologia, 3, 2009 b, Canela, RS. **Anais...** CD-ROM b.
- KILADIS, G.N.; DIAZ, H.F. Global climate anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v.2, p. 1069-1090, 1989.
- KILADIS, G.N.; K.MO, Interannual and intraseasonal variability in the Southern Hemisphere. In: **Meteorological Monographs**, Ed. D. Karoly and D.Vincent. American Meteorological Society. v. 27, n. 49, p. 307- 333, 1998.
- 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, n.6, p.1069-1079, 1997.
- NEWMAN, M.; COMPO, G.P.; ALEXANDER, M.A. ENSO forced variability of the Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Climate**, v.16, n. 23, p.3853-3857, 2003.
- ROPELEWSKI, C.F.; M.S. HALPERT Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1606-1626, 1987.
- SMITH, T.M.; REYNOLDS, R.W., PETERSON, T.C.; LAWRIEMORE, J. Improvements to NOAA's Historical Menger Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880-2006). **Journal of Climate**, v.21, p.2283-2296, 2008.
- TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997.
- VERDON, D.C.; FRANKS, S.W. Long-term behavior of ENSO: Interactions with PDO over the past 400 years inferred from paleoclimatic records. **Geophysical Research Letters**, v. 33, L06712, 2006.
- WILKS, D.S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2nd Ed. Elsevier, 2005. 627 p.
- ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; BATTISTI, D. S. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. **Journal of Climate**, v. 10, p. 1004-1020, 1997.