

Universidade do Estado do Amazonas
Escola Superior de Tecnologia
Curso de Bacharelado em Meteorologia

Mira Assenova Anguelova

**Diferenças entre as evoluções temporais dos ENOS plurianuais e
de único ano: Impactos na precipitação da América do Sul
tropical**

Manaus – Maio de 2022

Mira Assenova Anguelova

Diferenças entre as evoluções temporais dos ENOS plurianuais e de único ano: Impactos na precipitação da América do Sul tropical

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do curso de Bacharelado em Meteorologia da Universidade do Estado do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Meteorologia.

Orientadora: Profa. Dra. Rita Valéria Andreoli de Souza

Manaus – Maio de 2022

Mira Assenova Anguelova

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Meteorologia da Universidade do Estado do Amazonas, como um dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Mira Assenova Anguelova

Mira Assenova Anguelova

Data de aprovação: Manaus/AM, 24/05/2022.

BANCA EXAMINADORA

Rita Valéria Andreoli de Souza

Dra. Rita Valéria Andreoli de Souza

(Orientadora – Universidade do Estado do Amazonas)

Jaidete Monteiro de Souza

Dra. Jaidete Monteiro de Souza

(Universidade do Estado do Amazonas)

Rodrigo Augusto Ferreira de Souza

Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza

(Universidade do Estado do Amazonas)

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

A594dd Anguelova, Mira Assenova
Diferenças entre as evoluções temporais dos ENOS
plurianuais e de único ano: Impactos na precipitação da
América do Sul tropical / Mira Assenova Anguelova.
Manaus : [s.n], 2022.
48 f.: color.; 31 cm.

TCC - Graduação em Meteorologia - Bacharelado -
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022.
Inclui bibliografia
Orientador: de Souza, Rita Valéria Andreoli

1. El Niño-Oscilação Sul. 2. Variabilidade interanual.
3. América do Sul. I. de Souza, Rita Valéria Andreoli
(Orient.). II. Universidade do Estado do Amazonas. III.
Diferenças entre as evoluções temporais dos ENOS
plurianuais e de único ano: Impactos na precipitação da
América do Sul tropical

Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463

Resumo

O presente trabalho busca caracterizar e apontar as diferenças nos padrões de evolução dos eventos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS) com duração de um único ano, definidos como anuais, e com duração prolongada, como plurianuais, através da análise da Temperatura da Superfície do Mar, bem como verificar a influência de tais eventos sobre a precipitação na América do Sul Tropical. Para isto, dois eventos contrastantes, em termos de duração de evento, tanto para a fase positiva do ENOS (El Niño) quanto para a fase negativa (La Niña), foram selecionados para estudos de caso. A análise separada de cada um dos eventos selecionados sugeriu que os eventos ENOS apresentam características diferentes em relação a intensidade e persistência das anomalias quando comparamos o primeiro e segundo ano dos eventos. Além disso, mudanças nos padrões atmosféricos de teleconexões tropicais durante o primeiro e segundo ano dos eventos impactam de maneira diferente na precipitação da América do Sul Tropical.

Palavras-chave: El Niño-Oscilação Sul, Variabilidade interanual, América do Sul.

Lista de Ilustrações

Figura 1: Representação esquemática da Circulação de Walker em condições de neutralidade do ENOS. Fonte: NOAA/Climate.....	16
Figura 2: Representação esquemática da Circulação de Walker em condições de El Niño no Pacífico Tropical. Fonte: NOAA/Climate.	17
Figura 3: Representação esquemática da Circulação de Walker em condições de La Niña no Pacífico Tropical. Fonte: NOAA/Climate.	17
Figura 4: Distribuição espacial da ATSM vinculada a um Niño do Atlântico. Regiões com cores mais intensas indicam ATSM de valor mais alto. Fonte: Lubbecke et al., 2018.....	18
Figura 5: Padrões de evolução sazonal das anomalias de TSM (°C) tropical global durante o El Niño de 1982-1983, desde o trimestre de Junho a Agosto (JJA) do ano de desenvolvimento até Setembro a Novembro (SON) do ano de decaimento.....	25
Figura 6: Mesmo que na Figura 5, para anomalia de velocidade vertical (Pascal/s) em coordenadas de pressão.....	26
Figura 7: Mesmo que na Figura 5, para anomalia de função de corrente (m ² /s) em 200 hPa.	27
Figura 8: Mesmo que na Figura 5, para anomalia de precipitação (mm/mês) na América do Sul Tropical.....	28
Figura 9: Padrões de evolução sazonal das anomalias de TSM (°C) tropical global durante o El Niño de 1986-1987-1988, desde o trimestre de Junho a Agosto (JJA) do ano de desenvolvimento até Março a Maio (MAM) do ano de decaimento.	29
Figura 10: Mesmo que na Figura 9, para anomalia de velocidade vertical (Pascal/s) em coordenadas de pressão.....	30
Figura 11: Mesmo que na Figura 9, para anomalia de função de corrente (m ² /s) em 200 hPa.	31

Figura 12: Mesmo que na Figura 9, para anomalia de precipitação (mm/mês) na América do Sul Tropical.....	32
Figura 13: Padrões de evolução sazonal das anomalias de TSM (°C) tropical global durante a La Niña de 1988-1989, desde o trimestre de Junho a Agosto (JJA) do ano de desenvolvimento até Setembro a Novembro (SON) do ano de decaimento.	33
Figura 14: Mesmo que na Figura 13, para anomalia de velocidade vertical (Pascal/s) em coordenadas de pressão.....	34
Figura 15: Mesmo que na Figura 13, para anomalia de função de corrente (m ² /s) em 200 hPa.	35
Figura 16: Mesmo que na Figura 13, para anomalia de precipitação (mm/mês) na América do Sul.	36
Figura 17: Padrões de evolução sazonal das anomalias de TSM (°C) tropical global durante a La Niña de 1998-2000, desde o trimestre de Junho a Agosto (JJA) do ano de desenvolvimento até Março a Maio (MAM) do ano de decaimento.....	37
Figura 18: Mesmo que na Figura 17, para anomalia de velocidade vertical (Pascal/s) em coordenadas de pressão.....	38
Figura 19: Mesmo que na Figura 17, para anomalia de função de corrente (m ² /s) em 200 hPa.	39
Figura 20: Mesmo que na Figura 17, para anomalia de precipitação (mm/mês) na América do Sul Tropical.....	40

Lista de Tabelas

Tabela 1: Estratificação dos eventos ENOS entre 1980 e 2016 em anuais e plurianuais.23

Lista de Siglas e Abreviaturas

APNMM – Anomalia da Pressão ao Nível Médio do Mar

AS – América do Sul

ATSM – Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar

DJF – Dezembro-Janeiro-Fevereiro

EN – El Niño

ENOS – El Niño – Oscilação Sul

JJA – Junho-Julho-Agosto

LN – La Niña

MAM – Março-Abril-Maio

MEA – Modo Equatorial do Atlântico

PNMM – Pressão ao Nível Médio do Mar

SON – Setembro-Outubro-Novembro

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

Lista de Símbolos

ψ – Função de corrente

ω – Velocidade vertical em coordenadas de pressão

Sumário

1	Introdução	12
2	Objetivos.....	14
3	Revisão Bibliográfica	15
3.1	Modos de Variabilidade Climática.....	15
3.1.1	El Niño – Oscilação Sul.....	15
3.1.2	Modo Equatorial do Atlântico	18
3.1.3	Relação entre o ENOS e o MEA.....	18
4	Materiais e Métodos	21
4.1	Dados.....	21
4.2	Metodologia	22
5	Resultados.....	23
5.1	Evoluções da fase positiva do ENOS	23
5.1.1	Evento de 1982-1983	24
5.1.2	Evento de 1986-1987-1988.....	28
5.2	Evoluções da fase negativa do ENOS	33
5.2.1	Evento de 1988-1989	33
5.2.2	Evento de 1998-1999-2000.....	36
6	Conclusões.....	41
7	Referências	43

1 Introdução

Nos trópicos, a interação entre oceanos ocorre através da atmosfera, com a mudança da circulação atmosférica em resposta aos modos de variabilidade climática que ocorrem nos oceanos. As anomalias da temperatura da superfície do Mar (TSM) na região tropical geram mudanças na circulação tropical de Walker, que por sua vez podem acarretar mudanças na TSM em outras regiões tropicais e, através dessa interação, pode ser promovida a intensificação ou atenuação de modos nos oceanos (eg. Lau et al., 1996; Alexander et al., 2002). Grande parte dos trabalhos científicos que abordam a conexão entre oceanos citam e examinam a interação entre o Pacífico e o Atlântico tropical (Huang et al., 2002; Gonzalez et al., 2013), embora trabalhos atuais tenham buscado inserir os modos ocorrentes no oceano Índico para avaliar possíveis interações via atmosfera com os modos do Atlântico (Kajtar et al., 2017).

O evento El Niño - Oscilação Sul (ENOS) é o principal fenômeno de variabilidade climática nos trópicos, caracterizado por anomalias positivas (negativas) de TSM do Pacífico Equatorial que ocorrem em intervalos de 2 a 7 anos, acompanhadas de enfraquecimento (fortalecimento) dos ventos alísios e da circulação de Walker (Philander et al., 1983). Os impactos globais do ENOS variam durante o seu ciclo, sendo foco de estudos globais ou regionais, voltados para a América do Sul (Coelho et al., 2002; Grimm, 2003, 2004). Os maiores impactos são na precipitação e na temperatura do ar em várias regiões do globo, incluindo o Nordeste brasileiro, a costa peruana, a costa leste da África e o sudeste asiático (Lin et al., 2019).

De modo similar, o Modo Equatorial do Atlântico (MEA), constantemente definido como Modo Zonal do Atlântico ou, mais comumente, Niño do Atlântico, é um modo de variabilidade climática no Atlântico Tropical caracterizado pela presença de anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) extremas, definidas zonalmente no leste do Atlântico

Equatorial, que são acompanhadas por alterações nos alísios no Atlântico equatorial oeste tal que os alísios são mais fracos (fortes) que o normal durante eventos quentes (frios). Quando os alísios se intensificam (enfraquecem) no oeste do Atlântico equatorial, a inclinação da termoclina aumenta (diminui) e anomalias negativas (positivas) de temperatura da superfície do mar (TSM) se desenvolvem no oceano equatorial (Zebiak, 1993; Latif et al., 1999). O Niño do Atlântico é considerado o principal modo de variabilidade no Atlântico tropical durante o inverno austral e tem um impacto mundial no clima, incluindo a monção da África Ocidental, chuvas no Nordeste do Brasil e ondas de calor na Europa.

Recentemente, Tokinaga et al. (2019) indicaram que o MEA e o ENOS interagem de forma distinta dependendo da duração do evento ENOS. Eventos de ENOS com um ano de duração, como por exemplo o evento de 1997-98, apresentam um decaimento rápido após seu pico no verão austral, enquanto eventos de ENOS prolongados (duração de dois anos) sustentam o acoplamento oceano-atmosfera no Pacífico equatorial central e oeste, mesmo durante o outono e inverno austral, o que influencia o desenvolvimento de um Niño do Atlântico durante o inverno austral. A presença do Niño do Atlântico acoplada ao ENOS modula a precipitação sobre a América do Sul tropical durante o inverno austral (Kayano et al, 2006; Gonzalez et al. 2013) e é um fator importante para a persistência do evento no ano seguinte. O evento El Niño de 2015–2016, por exemplo, foi precedido por um evento El Niño fraco durante 2014 e 2015, o que indica a possibilidade de que esse evento tenha sido parte do evento de longa duração, ou seja, um El Niño de 2014-2016. Nesse caso, pode-se inferir que o El Niño de 2015-2016 contém duas características de evolução únicas que estavam ausentes no evento de 1997-98, ou seja, o El Niño de 2015-2016 foi precedido por outro El Niño de 2014-2015 de menor intensidade e se desenvolveu como um El Niño forte no segundo ano.

Sobre a AS, poucos trabalhos avaliaram os impactos climáticos associados aos eventos ENOS de longa duração, definidos daqui em diante por plurianuais (Lopes et al, 2021). Lopes

et al. (2021) focaliza nos eventos de La Niña e, embora menos frequentes, os eventos de El Niño plurianuais também ocorreram durante o século XX, como apresentado anteriormente (Tokinagata, 2019; Kim e Yu, 2021). Além disso, a região da AS é diretamente afetada durante eventos de El Niño por mudanças na circulação atmosférica e, por conseguinte, mudanças nos padrões de precipitação em diferentes áreas. A persistência dos eventos por períodos longos pode então ter uma influência na caracterização dos padrões sazonais anômalos de precipitação na AS, quando comparamos o primeiro e segundo ano desses eventos com eventos de duração de um único ano. Nesse sentido, avaliar como os eventos El Niño plurianuais podem estar associados com potenciais períodos secos ou úmidos sobre a AS, ainda é fonte de incerteza a ser explorada.

2 Objetivos

O objetivo principal do trabalho é examinar os impactos de eventos com duração de um único ano e eventos plurianuais de ENOS sobre os padrões oceânicos e atmosféricos, uma vez que a duração dos eventos ENOS pode ser outro fator primordial que explica mudanças na relação entre o ENOS e o MEA, e por conseguinte na relação com precipitação na AS.

Os objetivos específicos abordam

- I) Avaliar os padrões de evolução da TSM durante eventos ENOS plurianuais e suas teleconexões com a TSM no Atlântico tropical e com a precipitação na AS,
- II) Avaliar padrões de evolução de eventos ENOS de duração de um ano e suas teleconexões com a TSM no Atlântico tropical e com a precipitação na AS,
- III) Investigar quais os possíveis mecanismos que explicam a variabilidade de precipitação sobre a AS associada aos eventos ENOS plurianuais e anuais.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Modos de Variabilidade Climática

3.1.1 El Niño – Oscilação Sul

O principal modo de variabilidade interanual nos trópicos é o ENOS, caracterizado principalmente por anomalias na TSM do Pacífico Tropical acompanhadas de mudanças nos padrões de pressão entre o Pacífico Central e Oeste. Tais anomalias, quando positivas (negativas), definem a fase de El Niño (La Niña) do ENOS. Em questão de impactos no clima, esse modo de variabilidade conduz variações na precipitação e na temperatura do ar em escala global (Trenberth et al., 1991, 2013; Lin et al., 2019).

A Oscilação Sul presente na nomenclatura do evento faz referência à tendência de variação da pressão à nível médio do mar entre o Pacífico Leste e Oeste nas latitudes ligeiramente ao sul do Equador. Embora esse termo tenha sido introduzido na segunda metade da década de 1920 pelo físico Gilbert Walker e estudado posteriormente por outros pesquisadores (por exemplo, Troup, 1965; Berlage, 1966; Trenberth, 1976; Loockwood, 1984; Ropelewski e Jones, 2987), foram as pesquisas de Bjerkness (1966; 1969) que demonstraram se tratar de um fenômeno oceano-atmosfera que se manifesta nas demais variáveis atmosféricas e oceânicas. Assim, a variação da pressão do ar em superfície entre o Pacífico Leste e Oeste pôde ser relacionada com variações de TSM nessa mesma região, tornando a Oscilação Sul um índice importante que possibilita indicar o desenvolvimento e intensidade de um evento ENOS (Cane e Zebiak, 1985; Aceituno, 1992).

Em condições neutras do ENOS no Pacífico Tropical, os ventos alísios de nordeste e de sudeste atuam deslocando as águas superficiais aquecidas sobre o Pacífico Leste para o Oeste, centrando TSM mais elevada próximo à costa da Oceania, onde por consequência se localiza um ramo ascendente vinculado à Célula de Walker (Julian e Chervin, 1978; Rasmusson e

Carpenter, 1982; Chao e Philander, 1993). O resultado disso é a presença de um ramo descendente dessa circulação de larga escala sobre Pacífico Leste, coincidente com a região de TSM mais baixa, ilustrado na Figura 1.

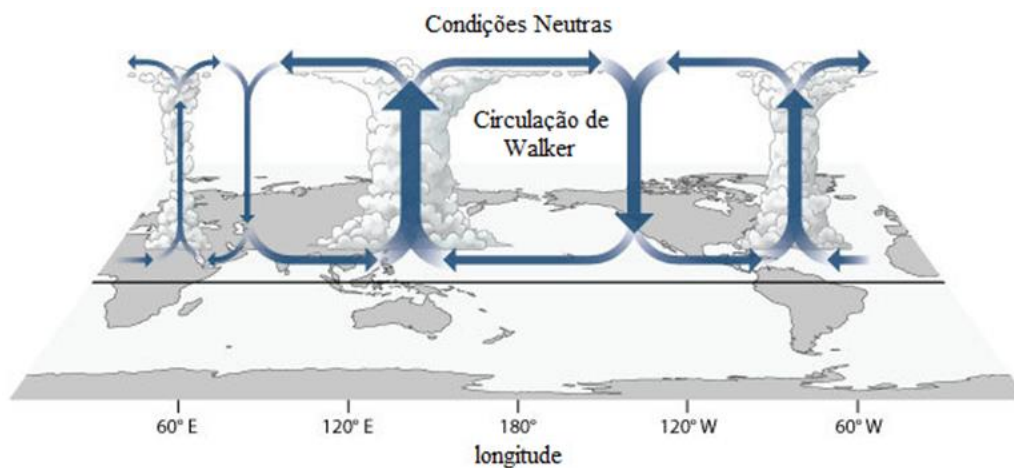


Figura 1: Representação esquemática da Circulação de Walker em condições de neutralidade do ENOS. Fonte: NOAA/Climate.

Quando a pressão a nível médio do mar no Pacífico Tropical Leste (Oeste) se encontra ligeiramente mais baixa (alta) do que a normal, os ventos alísios próximos ao Equador, que climatologicamente apresentam um movimento leste-oeste sofrem um enfraquecimento que, ao perdurar por meses, gera um aquecimento anômalo no Pacífico Leste, na costa do Peru. Tal anomalia positiva na TSM sobre essa região caracteriza o El Niño, evento esse capaz de modificar a circulação de Walker como esquematizado na Figura 2. A queda da economia vinda de atividades pesqueiras no Peru foi um dos primeiros impactos diretamente associados a esse fenômeno. Durante anos de El Niño, as águas aquecidas ao longo da costa do Peru se tornam inabitáveis, uma vez que a quantidade de nutrientes é diminuída e as diversas espécies de peixes migram para águas mais frias, impossibilitando a pesca durante o verão austral. El Niño, assim, é um termo que surgiu como referência ao “menino Jesus”, dada a proximidade da fase madura do evento ao feriado religioso de Natal (Philander, 1999). Demais outros impactos da fase positiva do ENOS sobre todo o globo foram inspecionados por pesquisadores nas últimas décadas, como variações na precipitação, intensidade dos ventos alísios, secas na Índia e até

mesmo variações de temperatura média sobre o Hemisfério Norte (Philander, 1983; Bronnimann, 2007; Curtis, 2008).

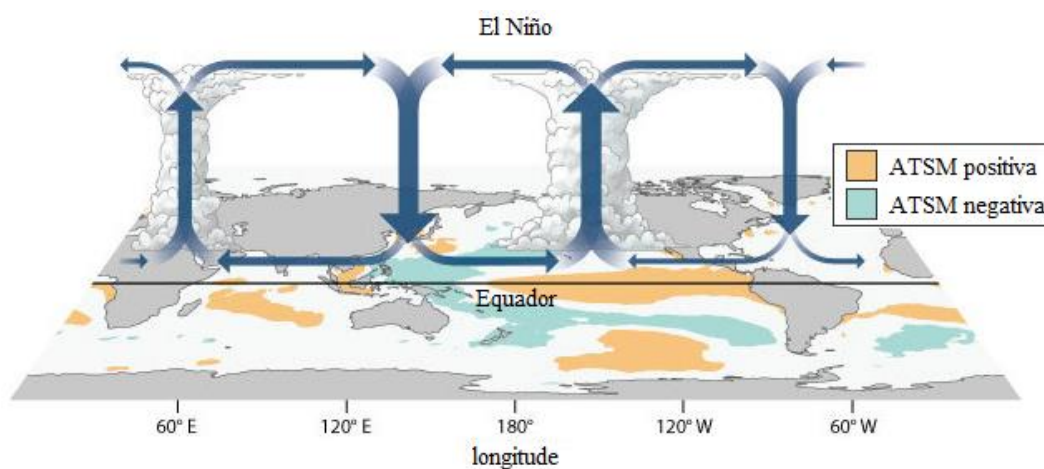


Figura 2: Representação esquemática da Circulação de Walker em condições de El Niño no Pacífico Tropical. Fonte: NOAA/Climate.

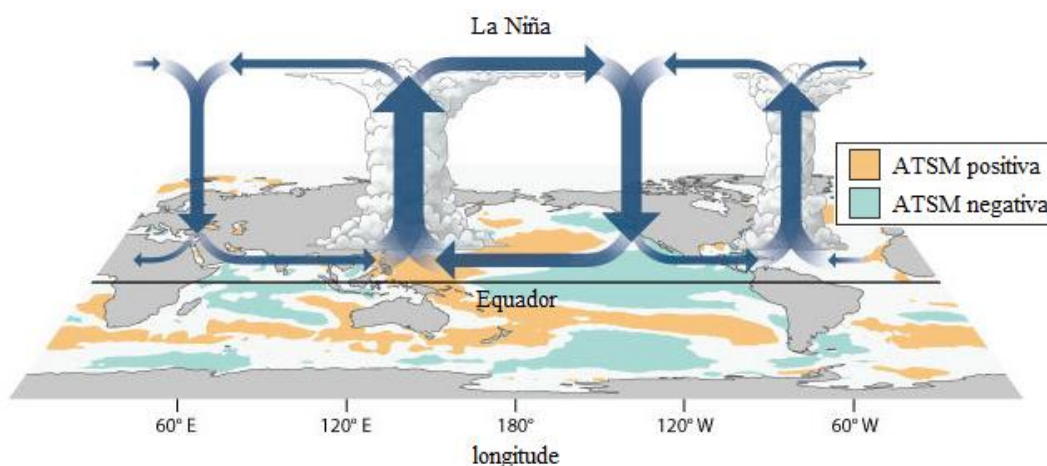


Figura 3: Representação esquemática da Circulação de Walker em condições de La Niña no Pacífico Tropical. Fonte: NOAA/Climate.

Já a fase negativa do ENOS, a La Niña, é formada com o fortalecimento dos ventos alísios sobre o Pacífico Tropical e consequente aumento do gradiente de temperatura entre o Pacífico Oeste, onde a concentração de águas aquecidas se torna maior, e o Leste, o que intensifica a Circulação de Walker (Figura 3). Outra característica vinculada à essa fase do ENOS é a intensificação do fenômeno de ressurgência na costa da AS, em especial na região

costeira do Peru e do Chile. Tal fenômeno responde de maneira oposta à fase positiva do ENOS, apresentando enfraquecimento e eventual interrupção (Wu et al., 2015; Wang et al., 2016).

3.1.2 Modo Equatorial do Atlântico

Outro modo de variabilidade climática nos oceanos tropicais é o MEA, que ocorre em uma escala de tempo interanual no Atlântico Tropical. Espacialmente, caracteriza-se pela presença de anomalias de TSM definidas zonalmente no Atlântico Equatorial Leste (Figura 4), acompanhadas por alterações nos alísios no Atlântico Equatorial Oeste tal que, os alísios são mais fracos (fortes) que o normal durante eventos quentes (frios) (Zebiak, 1993). O mecanismo fundamental para entendimento deste modo é o Feedback de Bjerknes, pelo qual uma anomalia quente na bacia equatorial oriental enfraquece os alísios, que, por sua vez, reduzem o fenômeno costeiro de ressurgência ao aprofundar a termoclina no leste, causando mais aquecimento (Bjerknes, 1969).

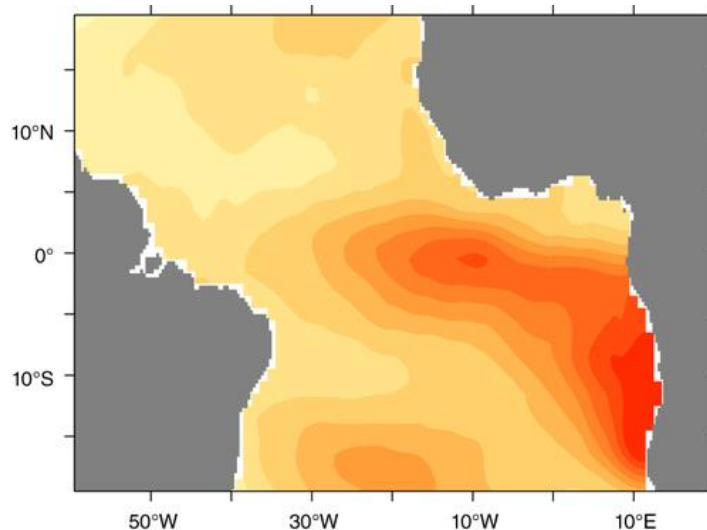


Figura 4: Distribuição espacial da ATSM vinculada a um Niño do Atlântico. Regiões com cores mais intensas indicam ATSM de valor mais alto. Fonte: Lubbecke et al., 2018.

3.1.3 Relação entre o ENOS e o MEA

A teleconexão entre o Pacífico e o Atlântico tem sido descrita por diversos trabalhos (Kayano et al., 2006; Rodriguez-Fonseca et al., 2009; Wang, 2016; Kajtar et al., 2017).

Rodriguez-Fonseca (2009) observaram que eventos de ENOS no Pacífico têm sido precedidos por eventos de sinal oposto nas anomalias de TSM do Atlântico Equatorial. O mecanismo que explica tal relação é que um evento de anomalia positiva (negativa) no Atlântico Equatorial intensifica a anomalia da Circulação de Walker, que apresenta movimentos ascendentes (descendentes) sobre o Atlântico Equatorial e descendentes (ascendentes) sobre o Pacífico Equatorial Leste (Latif e Grotzner, 1999; Losada et al., 2010). Tal mecanismo induz processos oceânicos que favorecem o afloramento (afundamento) da termoclina, o que contribui para que a região do Pacífico Equatorial Leste se torne ainda mais fria (quente), intensificando os eventos de ENOS. Já Kayano et al. (2006) analisaram a evolução temporal das anomalias de TSM relacionadas aos ENOS que ocorreram após eventos quentes e frios do MEA, observando diferentes padrões de evolução das anomalias de TSM e de pressão ao nível do mar (PNM), principalmente em relação às teleconexões associadas ao ENOS com efeitos na precipitação. Tais resultados sugerem fortemente a existência da relação entre os oceanos Pacífico e Atlântico, mas com discrepâncias sobre a questão da precedência dos eventos. Alguns autores sugerem que o Pacífico Tropical possui influência sobre o Atlântico Tropical (Latif e Grotzner, 1999), enquanto estudos mais recentes têm mostrado uma associação reversa, de que o MEA pode ser seguido de um evento ENOS (Kayano et al., 2006; Rodriguez-Fonseca et al., 2009; Tokinagata et al., 2019).

O trabalho recente de Tokinaga et al. (2019) é o primeiro estudo que revisita a influência do ENOS sobre o Niño do Atlântico ao comparar a evolução sazonal das anomalias atmosféricas e oceânicas associadas com eventos ENOS de um ou mais anos de duração, possibilitando a ilustração de uma ligação robusta e significativa entre o Niño do Atlântico e o ENOS plurianual. A principal característica que aborda os eventos de ENOS de diferentes durações é que o ENOS plurianual tende a sustentar o mesmo sinal da anomalia de TSM entre os picos do primeiro e do segundo ano de ocorrência. O ENOS com menor duração, por sua

vez, apresenta uma magnitude da anomalia de TSM comparável aos picos do ENOS plurianual ao atingir a sua fase madura, no entanto decai rapidamente, invertendo o sinal de sua anomalia de TSM.

Outra característica que pode ser avaliada é o gradiente zonal de TSM no Pacífico Equatorial Oeste, região onde a TSM, os ventos alísios e a convecção atmosférica se acoplam. Durante ENOS plurianuais, fortes anomalias do gradiente zonal de TSM emergem nessa região durante a fase de desenvolvimento do evento e persistem até o final da fase madura do segundo ano. Durante ENOS com duração de um ano, por outro lado, gradientes zonais anômalos de TSM aparecem apenas enquanto a fase madura do ENOS atua, em sincronia com o desenvolvimento sazonal da anomalia de TSM. Essa diferença no gradiente zonal de TSM entre eventos plurianuais e de um ano é relativamente maior entre o outono e o inverno boreal, quando o Niño do Atlântico normalmente começa a se desenvolver. Nesse sentido, durante a fase de maturação e de decaimento do ENOS plurianual, é verificado o aquecimento do Atlântico Equatorial Leste com anomalias significativas do gradiente de TSM, característica indicativa do Niño do Atlântico (Tokinaga et al., 2019). Também, Rodrigues et al. (2009) constatou que os eventos ENOS de longa duração intensificam os ventos alísios do sudeste e o deslocamento para o norte da ZCIT sobre o Atlântico Tropical, em concordância com o estudo citado anteriormente.

Em relação à influência do ENOS e do Niño do Atlântico na precipitação sobre a AS tropical, vários trabalhos definem as contribuições de cada um dos eventos na precipitação, e também quando atuam simultaneamente (eg. Kayano et al., 2011; Gonzalez et al., 2013), mas poucos trabalhos avaliam os impactos associados a ENOS plurianuais (Lopes et al, 2021). O ENOS é responsável por uma fração da variabilidade de precipitação na AS tropical, e essa relação é mais atuante durante a estação chuvosa (Rao e Hada, 1990). Assim, julga-se necessário avaliar a variabilidade da precipitação levando em consideração as variações

interanuais de TSM relacionadas ao ENOS e as que ocorrem no Atlântico Tropical, bem como suas relações.

4 Materiais e Métodos

4.1 Dados

Os dados a serem utilizados no presente trabalho consistem em campos globais de TSM mensais, com resolução temporal de janeiro de 1854 até o presente, do Projeto de Reanálise Estendida da NOAA na Versão 5, disponível em <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.ersst.v5.html> e descritos por Huang et al. (2017).

Os dados das variáveis velocidade vertical (ω) em 17 níveis de pressão e funções de corrente (ψ) em grade gaussiana de 192×94 pontos e no nível sigma 0,2101 (equivalente ao nível de 200 hPa) são oriundas do Projeto de Reanálise NCEP/NCAR 1, descritos por Kalnay et al. (1996) e disponíveis em <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.derived.html>, no período de janeiro de 1948 até o momento presente. De acordo com o teorema de Helmholtz, um fluxo horizontal bidimensional arbitrário $u = (u,v)$ pode ser separado em uma parte não divergente (ou seja, rotacional) u_a com $\nabla \cdot u_a = 0$ e uma parte divergente (ou seja, irrotacional) u_b com $\nabla \times u_b = 0$, ou seja, $u = u_a + u_b = k \times \nabla \psi + \nabla \chi$, onde ambas as partes também podem ser expressas em termos da função de fluxo (ψ) e da velocidade potencial (χ) (Holton, 2004). A função de corrente (ψ) é amplamente aplicada em meteorologia para representar campos de fluxo de grande escala. A função de corrente quantifica a posição e intensidade dos ciclones e anticiclones. Por outro lado, ω é usado para representar a circulação anômala de Walker relacionada aos eventos ENOS obtida como a seção transversal de longitude versus altura de ω média entre 6° N e 6° S.

Os dados de precipitação são oriundos do Global Precipitation Climatology Centre (GPCC, versão 2018) (Schneider et al., 2011). Esse produto contém os totais mensais em uma grade regular com uma resolução espacial de $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ de latitude por longitude para o período de 1901 a 2016 e está disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcc.html>. Para consistência entre os conjuntos de dados, o período de estudo foi definido de 1980 a 2016.

4.2 Metodologia

Inicialmente, foi feita a identificação dos anos com eventos de ENOS e sua classificação em eventos plurianuais e anuais na série temporal. Para a identificação dos eventos de El Niño e La Niña utilizou-se o método de Trenberth (1997), onde sua a média móvel de anomalias de TSM na região do Niño 3.4 precisa ser maior (menor) ou igual a $0,5^\circ\text{C}$ ($-0,5^\circ\text{C}$) durante pelo menos cinco meses consecutivos. Uma vez identificados os anos de El Niño e La Niña, a próxima etapa foi identificar os eventos plurianuais. Para isso foi utilizado o método proposto por Tokinaga et al., 2019, exceto pelo fato de utilizarmos a série do Niño 3.4 para a identificação dos eventos. Um evento El Niño (La Niña) plurianual é identificado quando o índice do Niño 3.4 está acima (abaixo) de $+0,75$ ($-0,75$) desvios padrão em qualquer mês durante Outubro(0)–Março(+1), permanece positivo durante Abril(+1)–Setembro(+1) e fica acima (abaixo) de $+0,5$ ($-0,5$) desvios padrão em qualquer mês durante Outubro(+1)–Março(+2). Os símbolos (0), (+1) e (+2) referem-se ao ano de início do evento e aos dois anos seguintes, respectivamente. A Tabela 1 lista os eventos ENOS definidos no período de estudo estratificados de acordo com suas classificações em eventos plurianuais e anuais.

	El Niño	La Niña
Anual	1982-1983, 1991-1992, 1994-1995, 1997-1998, 2002-2003, 2004-2005, 2006-2007, 2009-2010	1988-1989, 1995-1996, 2005-2006

Plurianual	1986-1987-1988, 2014-2015-2016	1983-1984-1985, 1998-1999-2000, 2007-2008-2009, 2010-2011-2012
------------	--------------------------------	---

Tabela 1: Estratificação dos eventos ENOS entre 1980 e 2016 em anuais e plurianuais.

Após os processos de seleção e de avaliação dos eventos ENOS anual e plurianual, dois eventos contrastantes, tanto para o El Niño e quanto a La Niña, em termos de duração de evento, foram selecionados para a realização de estudos de caso. Os padrões de anomalias de TSM e variáveis atmosféricas correspondentes a cada evento selecionado foram avaliados com a finalidade de verificar a relação com o Modo Equatorial do Atlântico e com a precipitação sobre a América do Sul tropical.

Para o cálculo de anomalias mensais, foi considerada uma climatologia de 37 anos (1980 a 2016). A partir dos cálculos das anomalias (diferença entre o valor mensal observado e a climatologia mensal), foram definidos os padrões de evolução sazonal das anomalias de TSM dos diferentes eventos de ENOS selecionados e os padrões de teleconexões atmosféricas correspondentes. Para definir tal padrão de evolução, foi considerada a média trimestral, desde o trimestre de Junho a Agosto (JJA) do ano em que se inicia o evento até Março a Maio (MAM) do ano de seu decaimento.

5 Resultados

5.1 Evoluções da fase positiva do ENOS

O evento de El Niño (EN) de um único ano selecionado para estudo das evoluções dos padrões de anomalias de TSM, ω e ψ foi o evento de 1982-1983. O evento plurianual selecionado foi o EN de 1986-1987-1988.

5.1.1 Evento de 1982-1983

O EN de 1982-1983 é um evento bastante documentado no quesito de processos de desencadeamento, simulações e efeitos na circulação atmosférica (Philander e Seigel, 1985). A Figura 5 descreve a evolução das anomalias de TSM desde JJA(0) até SON(+1) do ano de decaimento do evento. Durante JJA(0) é observado o padrão espacial de anomalias de TSM associada ao EN, com anomalias positivas presentes sobre o Pacífico Equatorial Leste e Central que se fortalecem durante SON(0) e se mantêm pelos próximos trimestres até MAM(+1). As anomalias positivas de TSM cobrem uma extensa área latitudinal entre os trimestres de DJF(+1) e MAM(+1) (Figura 5 c-d), ultrapassando os 15°S no Pacífico Central e Leste), enquanto que durante JJA(+1) e SON(+1) (Figura 5 e-f), as anomalias aparentam se concentrar sobre o Pacífico Leste e na região costeira da AS.

No Atlântico, anomalias negativas na costa africana podem ser observadas durante JJA(0) e SON(0), que enfraquecem durante DJF(+1), fase madura do EN, e retornam em JJA(+1). Um dipolo meridional positivo é formado em MAM(+1), com anomalias positivas (negativas) sobre o Atlântico Tropical Norte (Sul).

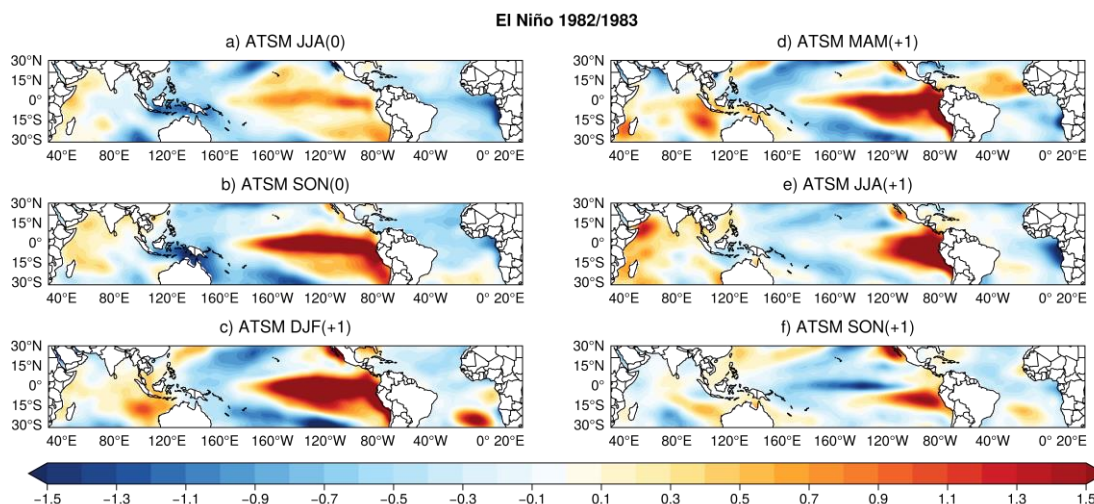


Figura 5: Padrões de evolução sazonal das anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) tropical global durante o El Niño de 1982-1983, desde o trimestre de Junho a Agosto (JJA) do ano de desenvolvimento até Setembro a Novembro (SON) do ano de decaimento.

As Figuras 6 e 7 mostram as evoluções temporais das anomalias de ω medidas entre as latitudes de 5°S e 5°N (seção altitude versus longitude) e de ψ em 200 hPa em resposta ao EN de 1982-1983. Os valores negativos de ω estendem-se sobre as regiões do Pacífico Central e Leste (entre 170°W e 80°W , correspondentes a 190 e 280 na Figura 6, respectivamente) que possuem valores elevados de anomalias de TSM. Tais anomalias positivas de TSM aquecem o ar em superfície, promovendo movimento ascendente intenso em tais regiões. O contrário ocorre sobre o Pacífico Equatorial Oeste (entre 100°W e 170°W na Figura 6), onde é formada uma região de subsidência como resposta à modificação da circulação da Célula de Walker, evidenciada pelos valores positivos da anomalia de ω . Outra região de subsidência também é formada sobre a AS tropical (entre 70°W e 40°W , correspondentes às faixas de 290 a 320 na Figura 6), forçando a predominância de alta pressão na região. Esse padrão persiste de JJA(0) até MAM(+1) e perde intensidade durante JJA(+1) e SON(+1) (Figura 6 e-f), associada à diminuição da extensão das anomalias de TSM positivas durante tais trimestres, concentrada somente sobre o Pacífico Leste.

Em relação à Figura 7, no Pacífico Central e no Atlântico são observados pares de anomalias de ψ em altos níveis da troposfera, sendo o do Pacífico associado à circulação anticiclônica nos dois hemisférios, e o do Atlântico relacionado à circulação ciclônica. Tais anomalias são mais presentes durante a fase de desenvolvimento e a fase madura do EN, enfraquecendo durante seu decaimento. Os fortes anticiclones no Pacífico central e oeste observados em JJA(0) gradualmente moveram-se para o leste, estando localizados entre 180 °W e 120 °W em DJF(+1), onde permaneceram quase estacionários e mais intensos em MAM(+1) (Figura 7). Por outro lado, o par de ciclones notados sobre a região tropical das Américas em JJA(0) enfraqueceu ligeiramente e se restringe à região do Atlântico tropical em SON(0). Esses pares de ciclones sobre o Atlântico tropical se intensificam em DJF(+1), e permanecem bastante intensos em MAM(+1).

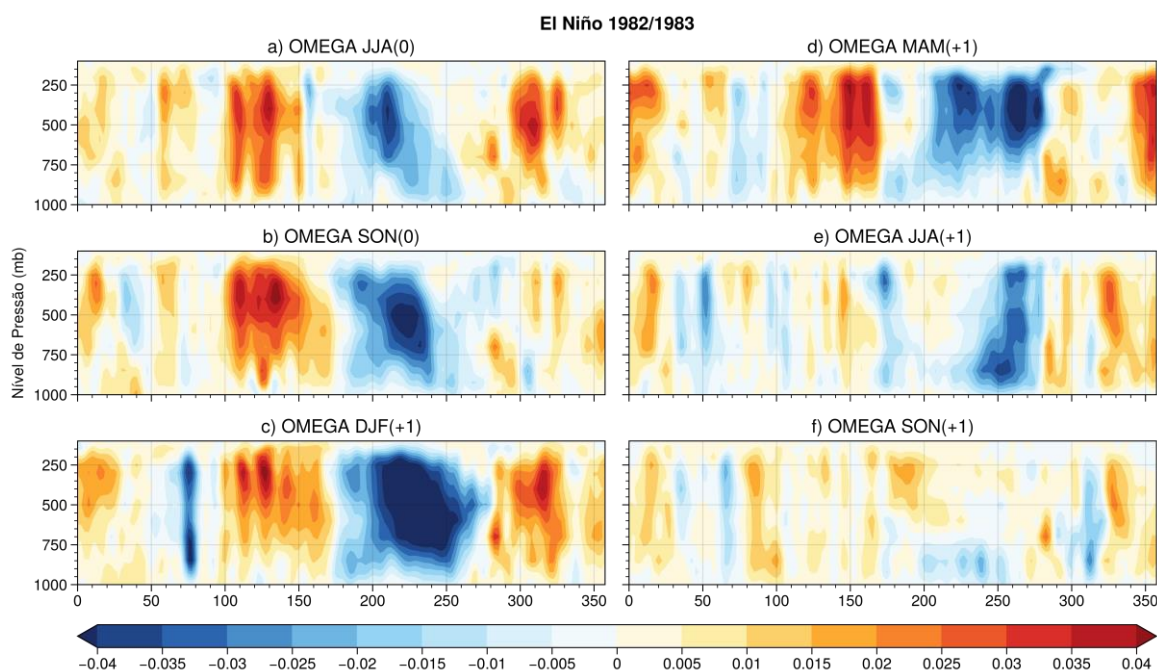


Figura 6: Mesmo que na Figura 5, para anomalia de velocidade vertical (Pascal/s) em coordenadas de pressão.

A anomalia de precipitação para o EN de 1982-1983 é apresentada na Figura 8. Anomalias negativas de precipitação são observadas no norte da AS, sobre Roraima e sobre o extremo norte do Pará, ainda durante JJA(0), embora o dipolo característico de eventos de EN

se torne presente durante a fase madura do EN e nos trimestres de DJF(+1) e MAM(+1) (Figura 8 c-e). Tal dipolo define a presença de anomalias negativas de precipitação sobre toda a região norte do Nordeste brasileiro, bem como as regiões norte e leste da Amazônia Legal, e anomalias positivas ao sul dessas regiões. As anomalias negativas coincidem com a região de subsidência da Célula de Walker observada na Figura 6.

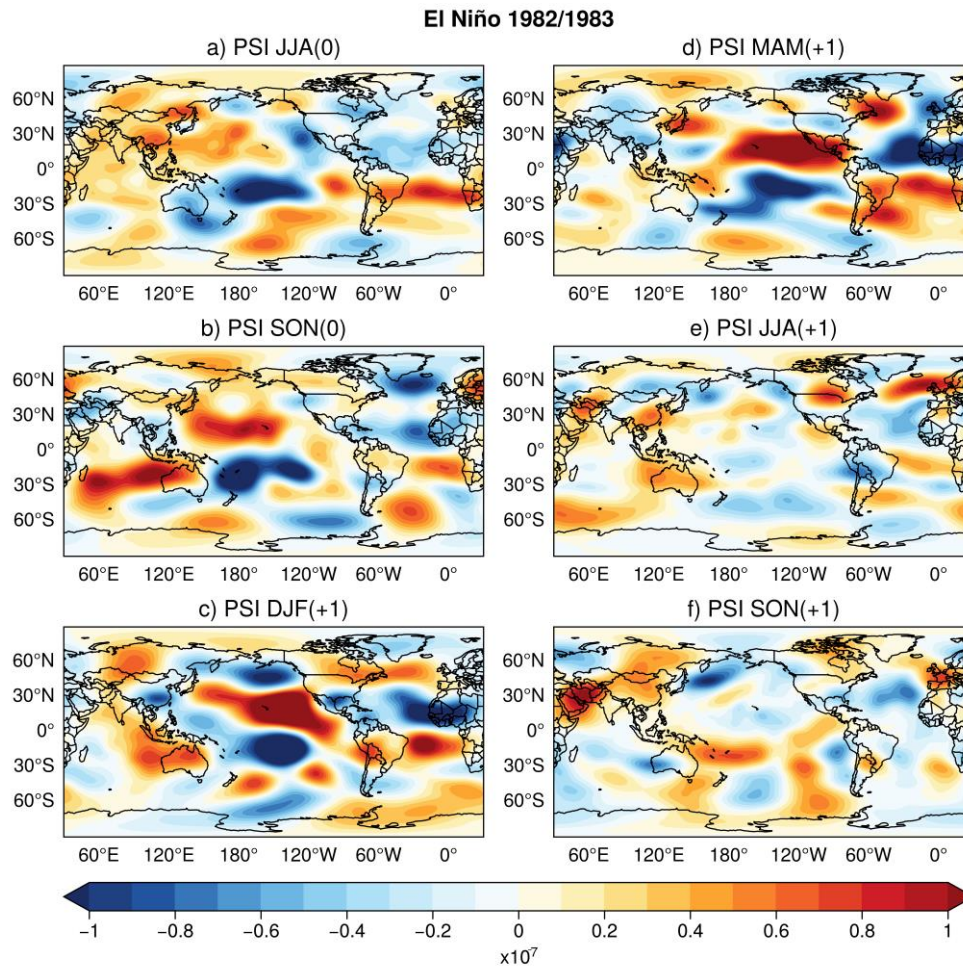


Figura 7: Mesmo que na Figura 5, para anomalia de função de corrente (m^2/s) em 200 hPa.

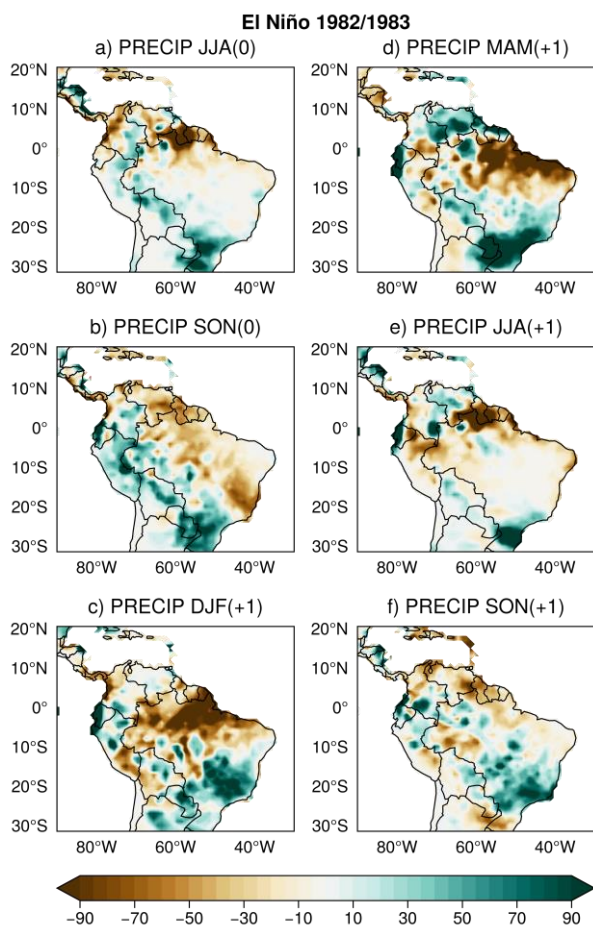


Figura 8: Mesmo que na Figura 5, para anomalia de precipitação (mm/mês) na América do Sul Tropical.

5.1.2 Evento de 1986-1987-1988

Eventos EN plurianuais tendem a apresentar duas fases, dentro das quais podem ser observadas duas fases maduras distintas. Durante SON(0), sinais positivos de anomalias de TSM são formados sobre o Pacífico Central (Figura 9 b). Essas anomalias se intensificam e cobrem todo a região do pacífico equatorial central e leste nos trimestres seguintes até MAM(+1) (Figura 9 c-f). Essa fase é marcada por anomalias positivas intensas em faixa estreita, sobre o Equador. Nos trimestres seguintes, é observada a expansão em área dessas anomalias, e em DJF(+2) ocorre o enfraquecimento do EN. Em MAM(+2) anomalias positivas sobre o Pacífico equatorial enfraquecem e anomalias negativas indicam o início de um evento

de LN (Figura 9 h). Além disso, existe um sinal de aquecimento no Atlântico Equatorial Leste, na região do Niño do Atlântico, em especial durante o ano de decaimento do EN.

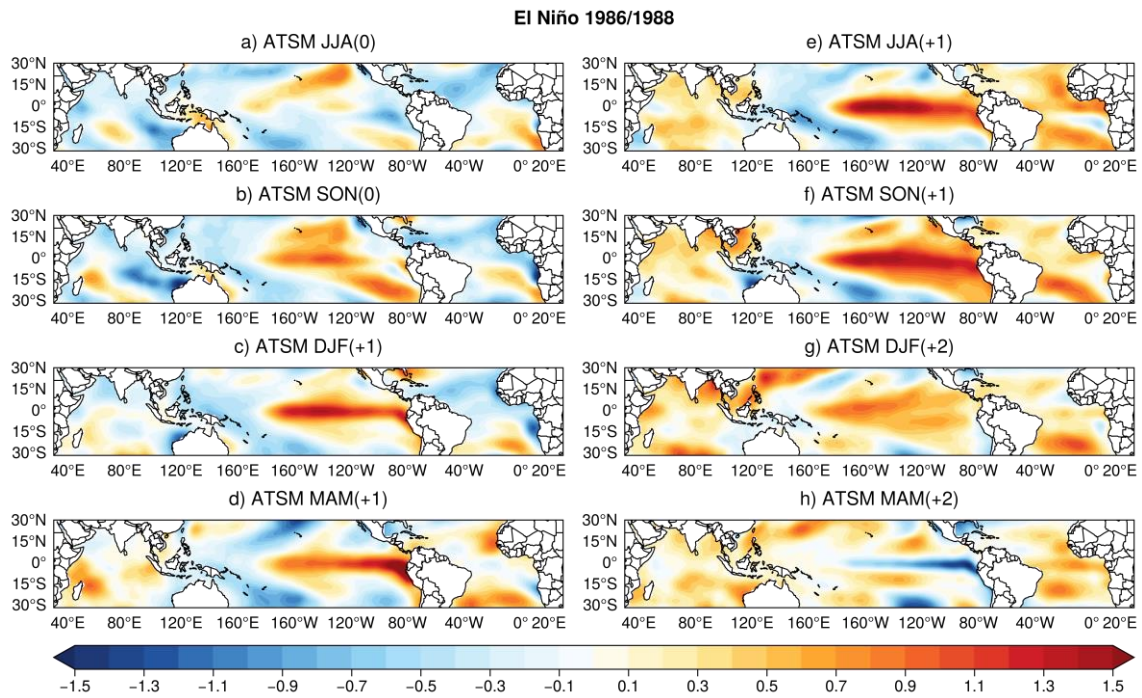


Figura 9: Padrões de evolução sazonal das anomalias de TSM (°C) tropical global durante o El Niño de 1986-1987-1988, desde o trimestre de Junho a Agosto (JJA) do ano de desenvolvimento até Março a Maio (MAM) do ano de decaimento.

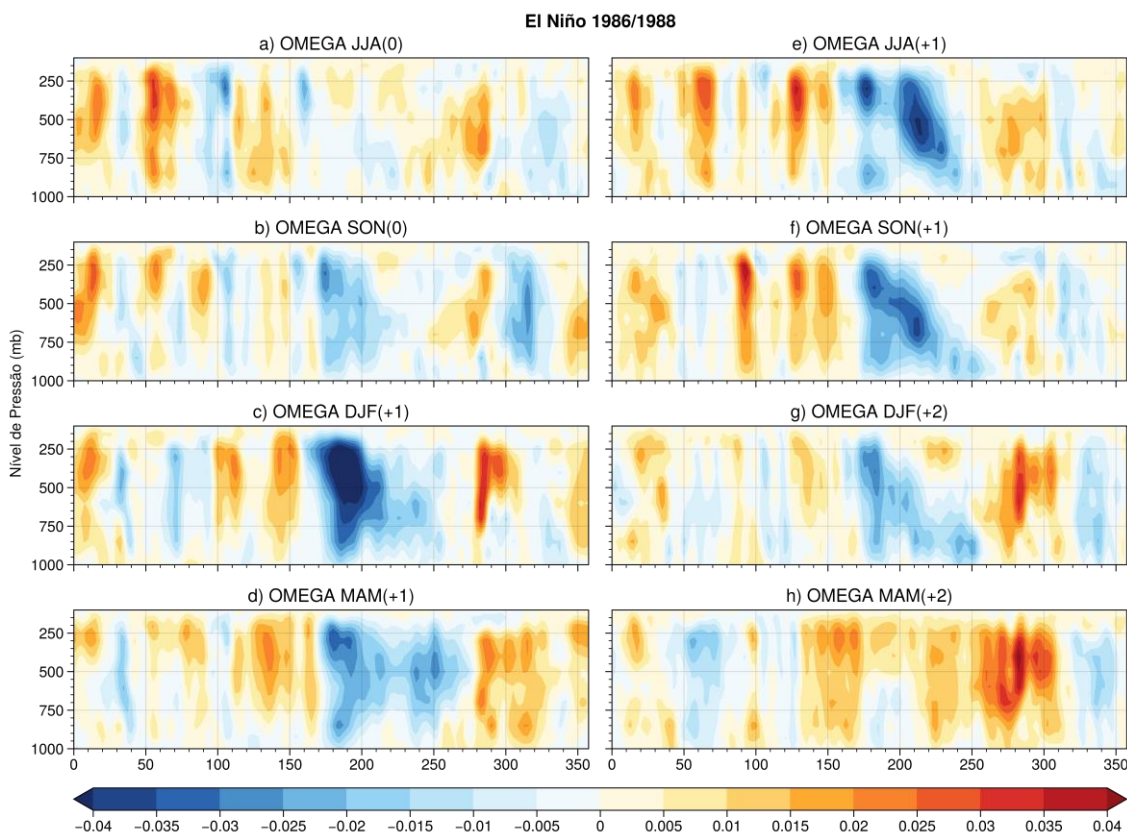


Figura 10: Mesmo que na Figura 9, para anomalia de velocidade vertical (Pascal/s) em coordenadas de pressão.

Em resposta às anomalias positivas de TSM, na Figura 10, observam-se anomalias negativas de ω sobre o Pacífico Central associadas a movimentos ascendentes. Essas anomalias são mais intensas durante o trimestre de DJF(+1). Nos trimestres seguintes ocorre um enfraquecimento das anomalias negativas que persistem até DJF(+2). Movimentos subsidentes sobre a AS são mais pronunciados durante DJF(+1), apresentando enfraquecimento durante JJA(+1) e SON(+1) e tornando a fortalecer nos últimos dois trimestres (DJF(+2) e MAM(+2)).

Em relação a anomalia de ψ , os dipolos mais marcantes nos trópicos ocorrem entre SON(0) e MAM(+1) (Figura 11 b-d), formando um par de anticiclones no Pacífico Central e um par de ciclones no Atlântico. Em MAM(+2), esses padrões aparentam ser substituídos por condições contrárias, mesmo que mais fracas, reforçando a ideia de inversão dos sinais anômalos do ENOS. Assim, passam a ser observados ciclones (anticiclones) sobre o Pacífico (Atlântico) Central, em ambos os hemisférios.

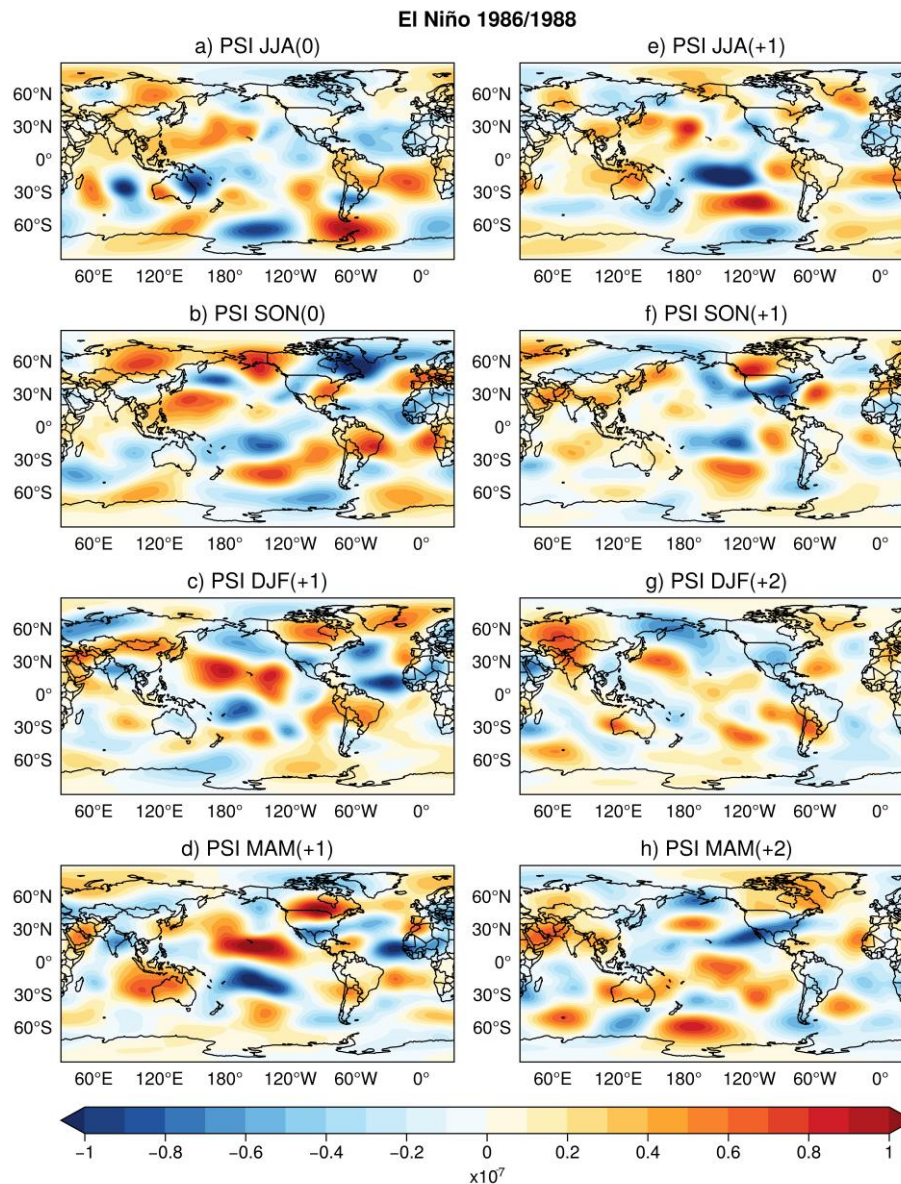


Figura 11: Mesmo que na Figura 9, para anomalia de função de corrente (m^2/s) em 200 hPa.

Já em relação à precipitação na AS Tropical durante esse evento (Figura 12) tem-se que as anomalias mais intensas ocorrem durante a primeira fase do EN (1986/1987). As secas características têm início a partir de DJF(+1) (Figura 12 c), com anomalias negativas de precipitação sobre todo o Nordeste brasileiro e faixa leste da região Norte, bem como sobre os países ao norte dessas duas regiões, em especial a Venezuela e a Guiana. Nos próximos dois trimestres, essas anomalias negativas enfraquecem, embora ainda sejam visíveis.

O ENOS retorna para uma condição normal entre os trimestres de DJF(+2) e MAM(+2), e em MAM(+2) são observadas anomalias positivas de precipitação no Norte e Nordeste brasileiro, associadas ao início do desenvolvimento de uma LN. Um outro aspecto visível no último trimestre citado é a presença de intensas anomalias negativas sobre o extremo norte do Amazonas e sobre os países ao norte da AS, relacionadas à forte subsidência vista na média das anomalias de ω entre as latitudes de 5°S e 5°N (Figura 10 h).

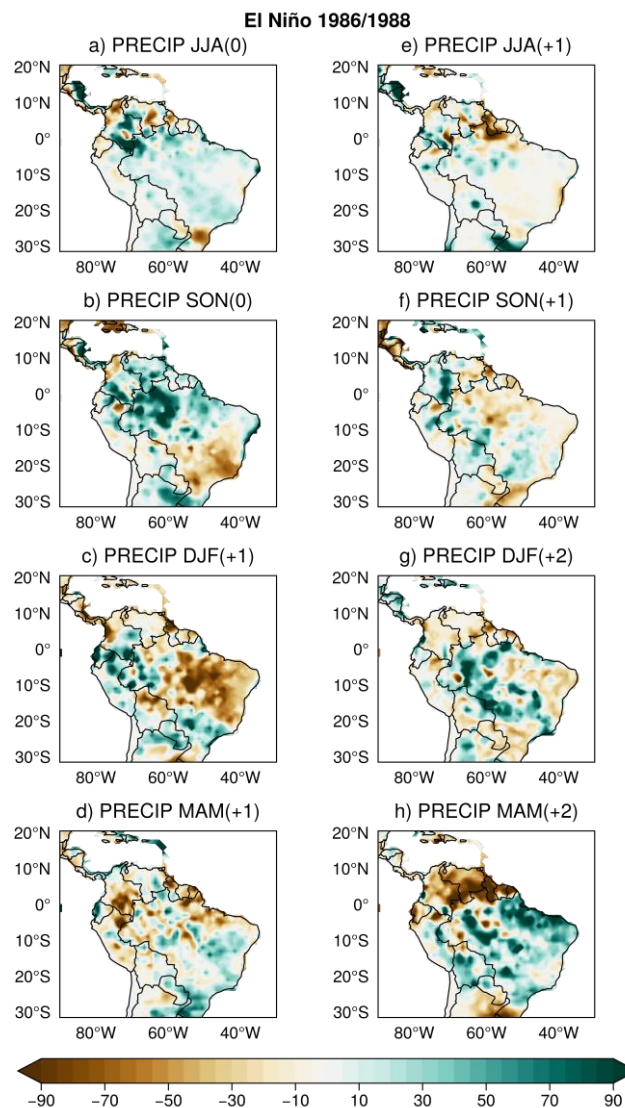


Figura 12: Mesmo que na Figura 9, para anomalia de precipitação (mm/mês) na América do Sul Tropical.

5.2 Evoluções da fase negativa do ENOS

Seguem abaixo as evoluções dos padrões de anomalias de TSM, ω e ψ para o evento de LN precedido pelo EN plurianual de 1986-1987-1988, e para a LN plurianual de 1998-1999-2000.

5.2.1 Evento de 1988-1989

A evolução do campo de ATSM na Figura 13 mostra a LN bem estabelecida ainda durante JJA(0), com fortes anomalias no Pacífico Equatorial Leste e Central que se expandem para oeste nos próximos dois trimestres, resultando em uma fase madura da LN ocorrendo no Pacífico Central, enquanto que próximo à costa da AS as anomalias são fracas ou nulas (Figura 13 c). As anomalias negativas perdem intensidade a partir do trimestre de MAM(+1), desconfigurando a LN no decorrer dos últimos dois trimestres descritos.

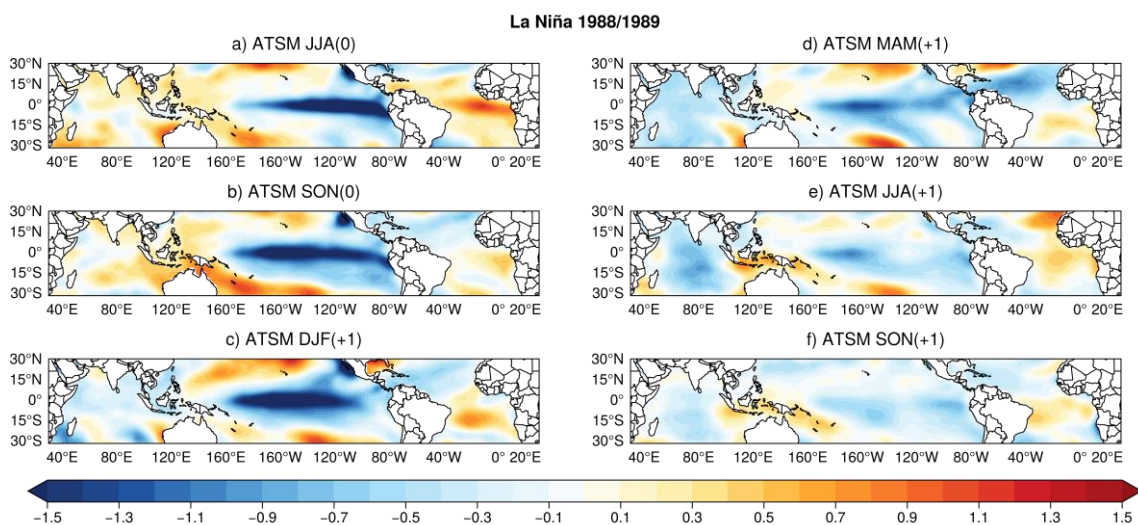


Figura 13: Padrões de evolução sazonal das anomalias de TSM (°C) tropical global durante a La Niña de 1988-1989, desde o trimestre de Junho a Agosto (JJA) do ano de desenvolvimento até Setembro a Novembro (SON) do ano de decaimento.

Sobre o Atlântico, é possível verificar a evolução de anomalias positivas de TSM próximas à costa africana que podem ser associadas a um Niño do Atlântico. Esse evento começa a desencadear ainda durante o EN de 1986-1987-1988, atingindo anomalias máximas durante JJA de 1988, quando a LN já se encontra estabelecida.

As anomalias de ω (Figura 14), durante todos os trimestres descritos, indicam subsidência sobre o Pacífico Central e Leste, em especial em médios e baixos níveis de pressão. As anomalias positivas mais intensas ocorrem durante os primeiros três trimestres, com valores máximos sobre o Pacífico Equatorial (entre 160 e 230 na Figura 14, correspondentes a 160 °E e 130 °W) ocorrendo durante a fase madura do evento.

Relacionado a tais características, os dipolos mais contrastantes entre anomalias positivas e negativas de ψ (Figura 15) ocorrem também durante os três primeiros trimestres descritos, bem como durante o trimestre que inicia a fase de decaimento da LN (MAM(+1)). As anomalias negativas no Pacífico Tropical Norte e positivas no Pacífico Tropical Sul denotam a formação de ciclones em ambas as regiões, enquanto que sobre o Atlântico ocorre o oposto, onde passam a ser observados anticiclones.

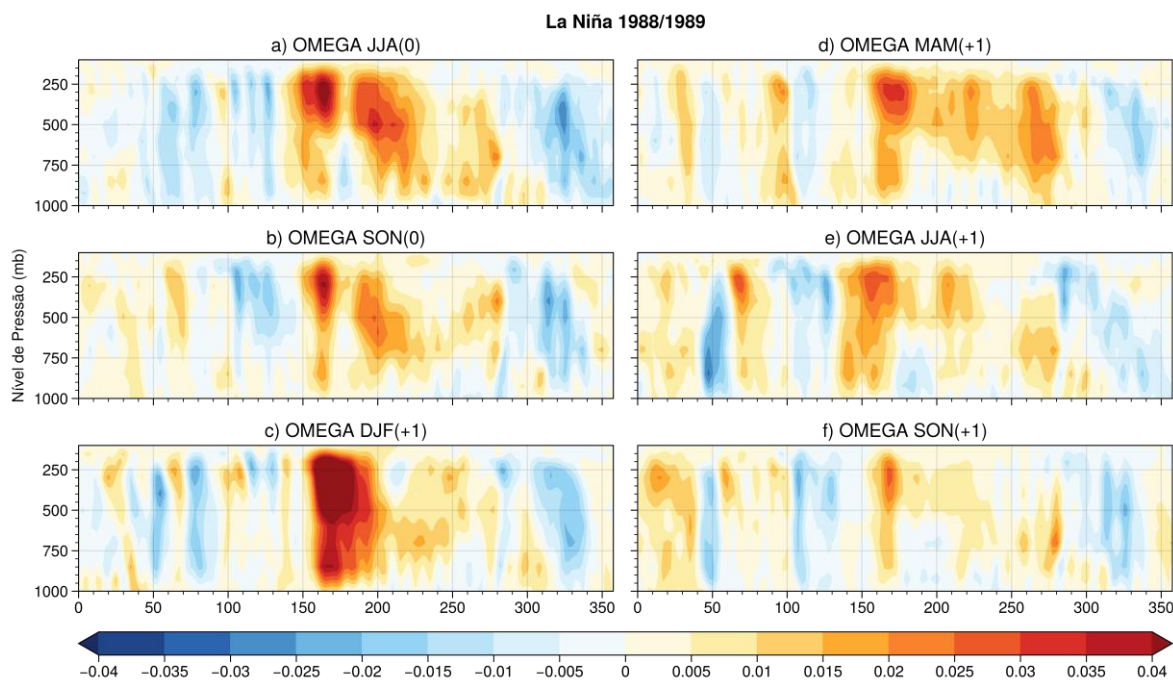


Figura 14: Mesmo que na Figura 13, para anomalia de velocidade vertical (Pascal/s) em coordenadas de pressão.

A anomalia de precipitação na AS Tropical pode ser observada na Figura 16. Entre JJA(0) e DJF(+1), o extremo norte da Amazônia Legal, bem como Venezuela, Guiana,

Suriname e Guiana Francesa, apresentam anomalias positivas de precipitação vinculadas aos movimentos ascendentes observados na Figura 14 sobre as coordenadas da AS. Nos próximos trimestres, essas anomalias aparentam se concentrar majoritariamente sobre a faixa norte das regiões Norte e Nordeste, com anomalias negativas sobre os países acima dessa faixa, com exceção a Guiana Francesa e ao Suriname, perdurando até JJA(+1).

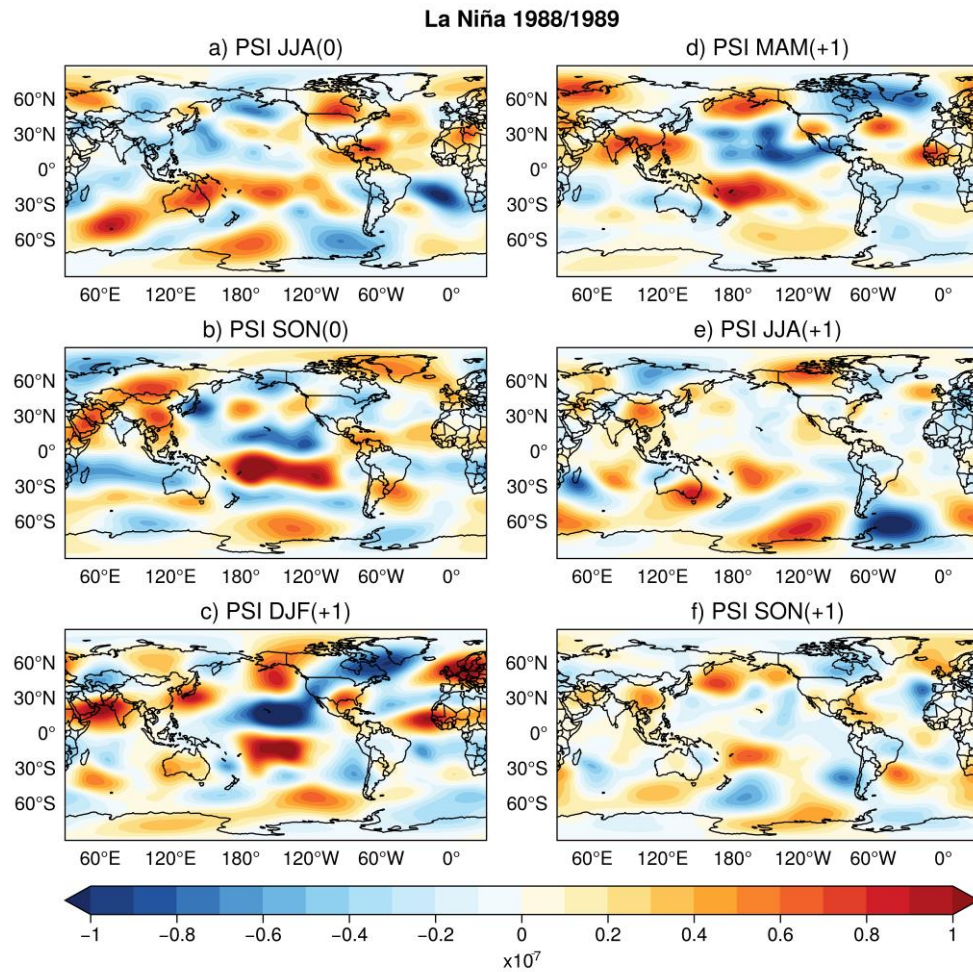


Figura 15: Mesmo que na Figura 13, para anomalia de função de corrente (m^2/s) em 200 hPa.

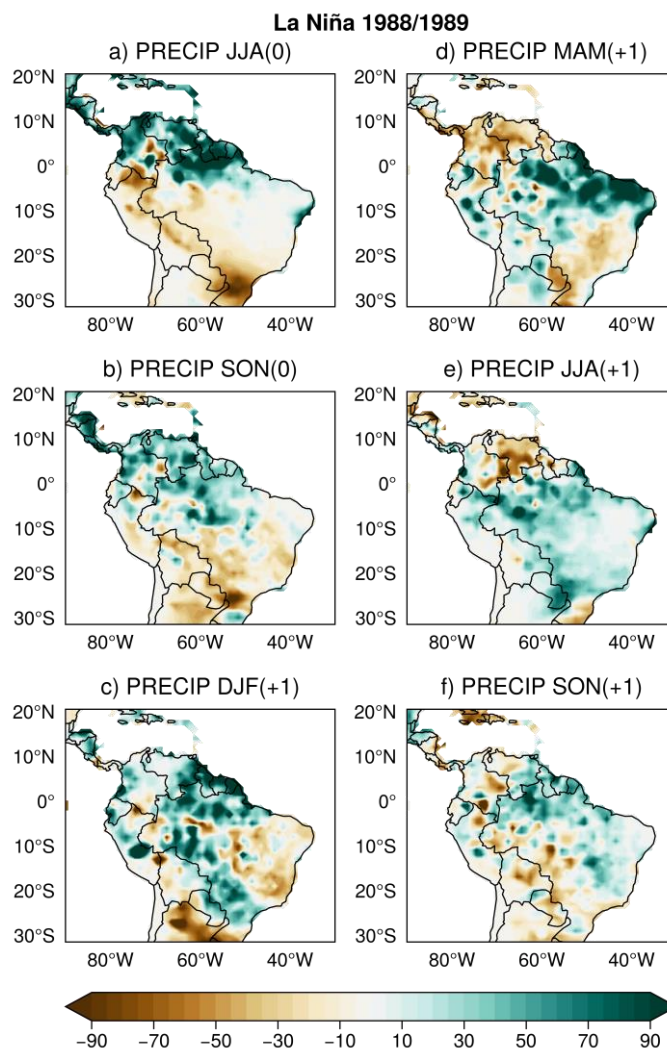


Figura 16: Mesmo que na Figura 13, para anomalia de precipitação (mm/mês) na América do Sul.

5.2.2 Evento de 1998-1999-2000

A LN de 1998-1999-2000 é um evento que foi precedido por um EN marcado por intensas anomalias positivas de TSM, sendo classificado como forte, e a inversão entre as duas condições ocorreu de maneira brusca (McPhaden, 1999; Schwing et al., 2002). Assim, considera-se que a LN foi estabelecida durante JJA(0) (Figura 17 a), embora o Pacífico Leste e a costa da AS apresentem ATSM positivas, uma vez que tal consideração é feita a partir do monitoramento da Região 3.4 do Índice Niño.

Esse evento apresenta duas fases maduras bem estabelecidas durante DJF de 1998/1999 e de 1999/2000, nas quais ocorrem as anomalias negativas mais intensas de TSM. Entre essas duas fases é possível observar o enfraquecimento da ATSM, porém sem desconfigurar a LN, característica de ENOS plurianual.

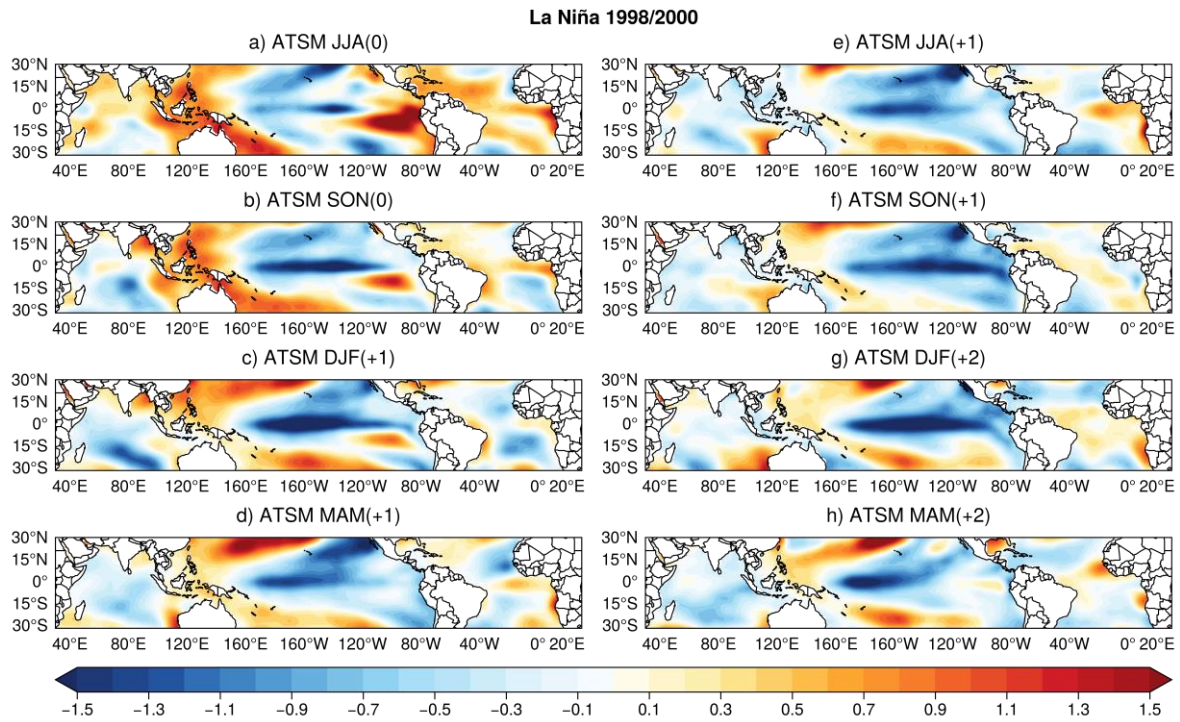


Figura 17: Padrões de evolução sazonal das anomalias de TSM (°C) tropical global durante a La Niña de 1998-2000, desde o trimestre de Junho a Agosto (JJA) do ano de desenvolvimento até Março a Maio (MAM) do ano de decaimento.

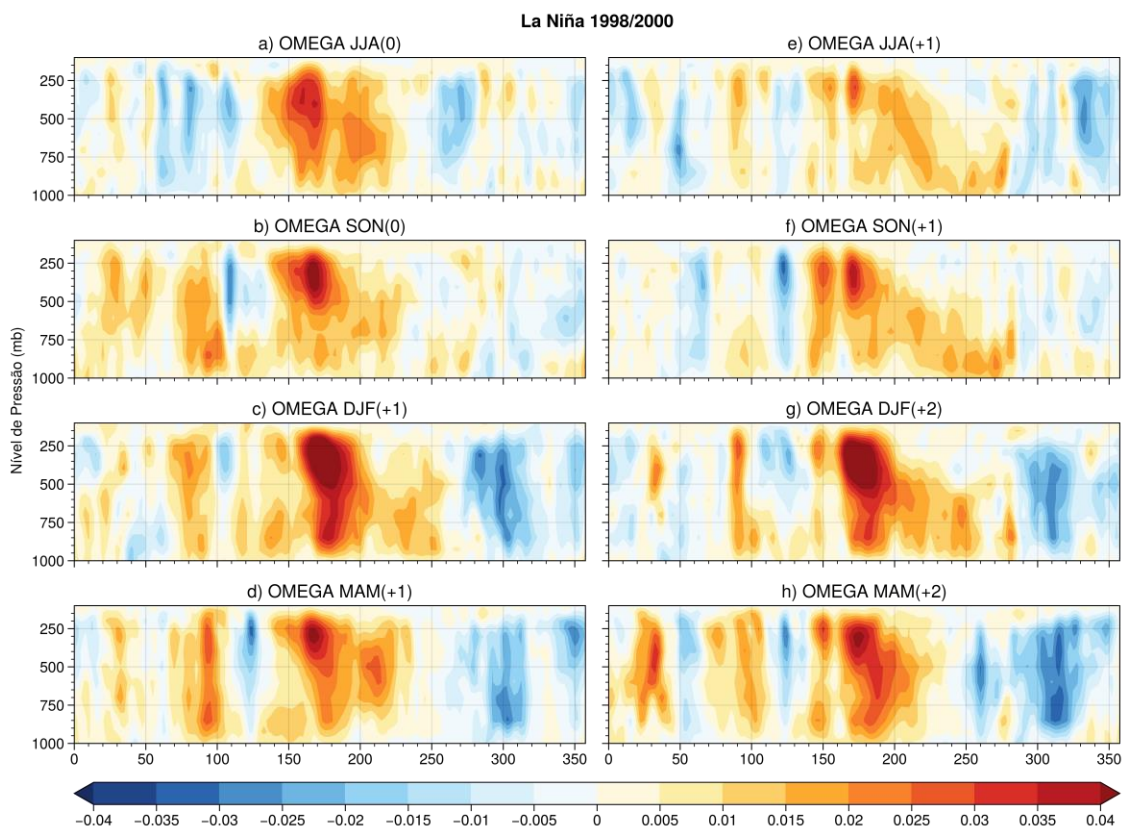


Figura 18: Mesmo que na Figura 17, para anomalia de velocidade vertical (Pascal/s) em coordenadas de pressão.

A Figura 18 reitera tal característica, com máximos valores de ω ocorrendo durante DJF(+1), que enfraquecem entre MAM(+1) e JJA(+1) e voltam a fortalecer durante SON(+1), atingindo um segundo pico durante DJF(+2). As fases maduras desse evento acompanham movimentos ascendentes sobre a AS Equatorial, favorecendo a ocorrência precipitação. Em relação a anomalia de ψ na Figura 19, tem-se que a formação de dipolos no Pacífico Central e no Atlântico é mais marcante durante DJF(+2) e MAM(+2), estabelecendo padrões ciclônicos no Pacífico Central e anticiclônicos no Atlântico, na alta Troposfera.

A Figura 20 mostra a anomalia de precipitação na AS Tropical. Embora a LN já esteja bastante definida no Pacífico Central e Leste no primeiro trimestre descrito, a anomalia de precipitação não apresenta valores intensos sobre o Norte e o Nordeste brasileiro, atingindo

somente os países da AS Equatorial, característica observada também durante a fase de reestabelecimento da LN, durante JJA(+1) (Figura 20 e).

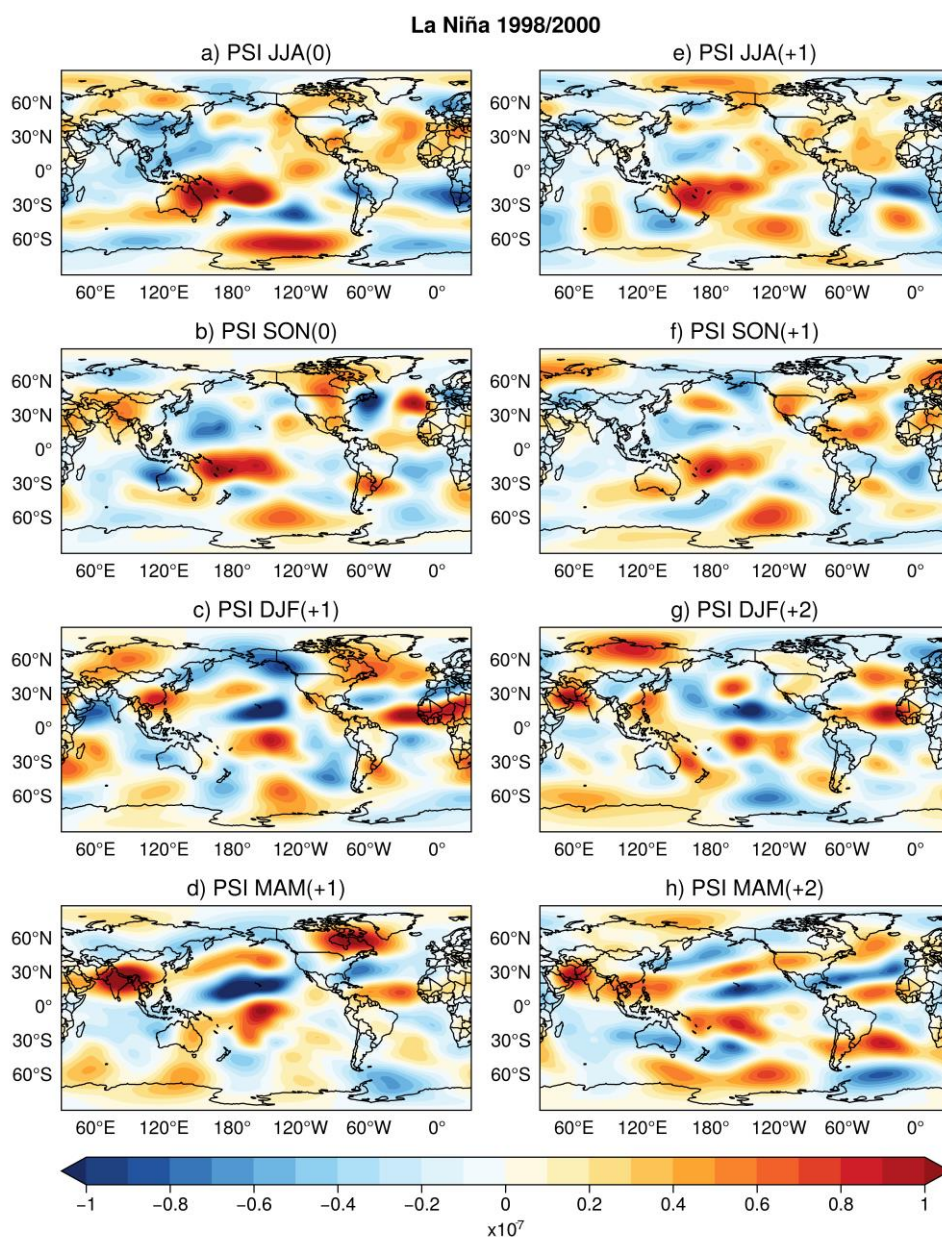


Figura 19: Mesmo que na Figura 17, para anomalia de função de corrente (m^2/s) em 200 hPa.

Outra característica marcante é a distinção das anomalias quando são comparadas as duas fases maduras do evento pluri-anual. A primeira fase madura (Figura 20 c) é marcada por anomalias positivas de precipitação sobre os países da AS Equatorial e sobre o norte do Norte brasileiro. Nas demais áreas dessa região, bem como no Nordeste brasileiro, predominam

anomalias negativas. Já a segunda fase madura (Figura 20 g), as anomalias negativas se concentram na faixa centro-oeste do Norte brasileiro, com anomalias positivas ocorrendo sobre as demais regiões do Norte e Nordeste e sobre os países acima dessas regiões.

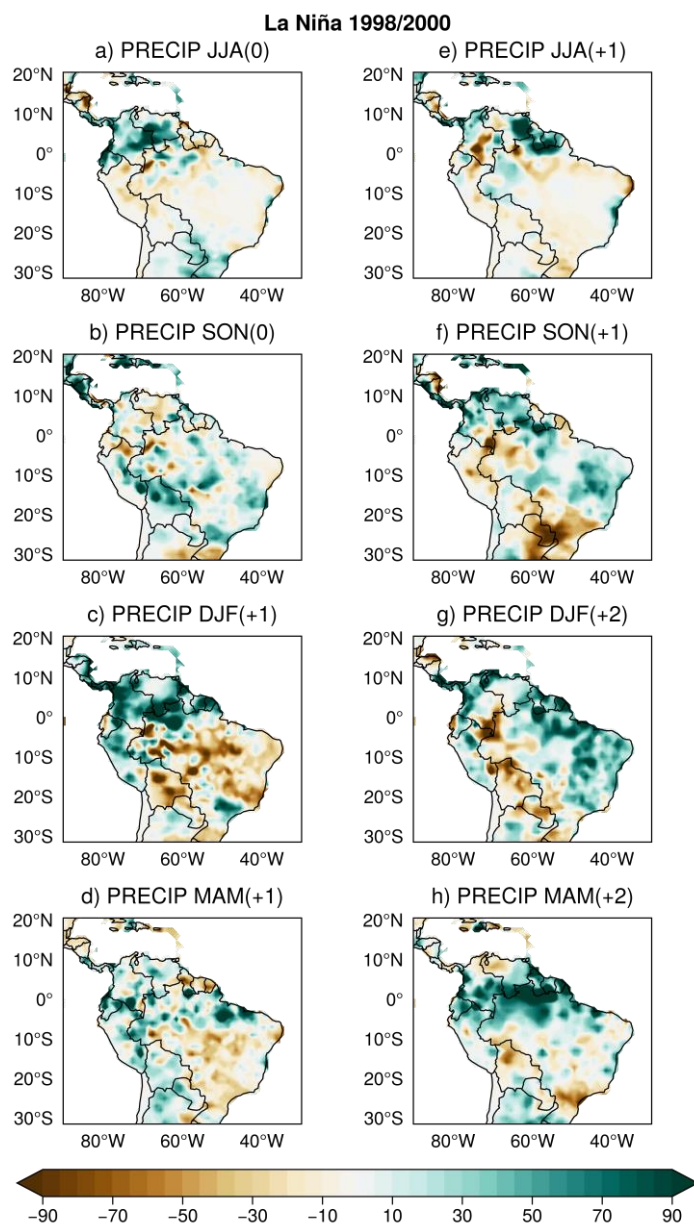


Figura 20: Mesmo que na Figura 17, para anomalia de precipitação (mm/mês) na América do Sul Tropical.

6 Conclusões

Este estudo aborda o impacto das teleconexões de eventos ENOS plurianuais e anuais nas variações de precipitação sobre a América do Sul selecionados no período de 1980-2016. Análises de eventos individuais sugerem que os eventos EN apresentam características diferentes em relação a sua intensidade e persistência das anomalias. Enquanto o evento EN anual (1982-83) foi mais intenso com decaimento rápido após seu pico durante o verão austral, o evento plurianual (1986-88) apresentou intensidade moderada desde seu desenvolvimento até a fase de pico em DJF(+1), quando decaem ligeiramente no outono e em seguida intensificam e apresentam um segundo pico em SON(+1) e voltam a enfraquecer até MAM(+2), apresentando assim, duas fases de maturação bem definidas em relação às anomalias de TSM. Comportamento similar é observado para a LN plurianual (1998-1999-2000) que apresenta duas fases maduras que ocorrem ambas durante os verões austrais de 1998/1999 e 1999/2000.

Essas diferenças na intensidade e duração dos eventos ENOS influenciam diferentemente a precipitação sazonal da América do Sul. A precipitação sobre AS Tropical se diferencia durante o primeiro e segundo ano do evento de LN, principalmente nos períodos de verão e outono, que coincidem com as fases madura e de decaimento do evento. Tais diferenças são espaciais e quantitativas. Por exemplo, a precipitação durante a primeira fase madura da LN plurianual apresentou um dipolo meridional de anomalias de tal forma que Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname, Guiana Francesa e a faixa norte da Amazônia Legal apresentaram anomalias positivas de precipitação, enquanto na faixa sul da Amazônia Legal predominaram anomalias negativas. Já durante a segunda fase madura da LN, as anomalias positivas foram dispostas sobre o Nordeste Brasileiro e a Amazônia Legal Oriental, enquanto anomalias negativas predominaram sobre o leste da Amazônia Legal. Também, quando comparado com as anomalias de precipitação durante a LN de 1988/1989, observa-se que o

primeiro ano da LN plurianual gera como resultado um campo anômalo de precipitação que se assemelha ao campo visualizado durante a fase madura da LN anual.

Em relação ao EN plurianual, as suas duas fases de maturação ocorrem em estações diferentes, a primeira sendo no verão austral de 1986/1987 e a segunda durante o outono de 1987. A resposta na anomalia de precipitação na AS Tropical, assim, difere entre as duas fases de maturação dos eventos de tal forma que, durante a primeira fase, as anomalias positivas predominam sobre toda a AS Tropical, com exceção à faixa oeste da Amazônia Legal, enquanto que durante a segunda fase, as anomalias positivas são mais fracas e as anomalias negativas sobre a Amazônia Legal Ocidental são mais intensas.

Mudanças na circulação de Walker explicam mudanças nos padrões de precipitação sobre as regiões norte e nordeste da AS durante os eventos anuais e plurianuais. A distribuição espacial das anomalias de TSM no Pacífico Equatorial difere entre os eventos analisados, o que implica em mudanças na circulação zonal atmosférica e nas regiões de subsidência e ascendência de tal circulação que, quando observadas separadamente para cada evento, trazem consequências diferentes para a precipitação na AS Tropical.

De modo geral, os resultados apresentados nesse estudo sugerem que a visão inicial do impacto dos eventos ENOS, sem distinguir os eventos plurianuais dos anuais pode representar um comportamento médio das diferentes teleconexões observadas nos anos inicial e final do evento. Eventos anuais e plurianuais mostram características diferentes em relação a sua intensidade e posicionamento das anomalias, o que explica as mudanças nos padrões de teleconexões apresentados. Para trabalhos futuros sugerem-se análises que considerem um maior número de eventos e que incluam análises de outras variáveis atmosféricas, como por exemplo o fluxo de umidade, para aprofundar o entendimento do impacto dos diferentes eventos ENOS na precipitação da AS.

7 Referências

- Aceituno, P., 1992. El Niño, the Southern Oscillation, and ENSO: Confusing Names for a Complex Ocean-Atmosphere Interaction. *Bulletin American Meteorological Society*, Vol. 73, No. 4
- Alexander, M. A.; Bladé I; Newman, M.; Lazante, J. R.; Lau, N.; Scot, J.D. 2002. The atmospheric bridge: the influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans. *Journal of Climate*, 15:2205-2231. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2205:TABTIO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2205:TABTIO>2.0.CO;2)
- Berlage, H. P., 1966: The Southern Oscillation and World Weather. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Mededelingen en Verhandelingen No. 88, 152 pp.
- Bjerknes, J., 1966: A possible response of the atmospheric Hadley cell to equatorial anomalies of ocean temperature. *Tellus*, 18, 820-829. DOI: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v18i4.9712>
- Bjerknes, J. A. 1969. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review* 97: 163–172. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1969\)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1969)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2)
- Boyin Huang, Peter W. Thorne, Viva F. Banzon, Tim Boyer, Gennady Chepurin, Jay H. Lawrimore, Matthew J. Menne, Thomas M. Smith, Russell S. Vose, and Huai-Min Zhang. 2017. NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST), Version 5. NOAA National Centers for Environmental Information. DOI:10.7289/V5T72FNM.
- Bronnimann, S. 2007. Impact of El Niño – Southern Oscillation on European Climate. *Rev. Geophys.*, 45, RG3003, DOI:10.1029/2006RG000199
- Cane, M. A., and S. E. Zebiak, 1985. A theory for El Niño and the Southern Oscillation, *Science*, 228, 1085-1087. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.228.4703.1085>

- Chao, Y., and S. G. H. Philander, 1993. On the structure of the Southern Oscillation, *J. Clim.*, 6, 450-469. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006<0449:OTSOTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006<0449:OTSOTS>2.0.CO;2)
- C. A. S. Coelho, C. B. Uvo, T. Ambrizzi. 2002. Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. *Theoretical and Applied Climatology* volume 71, pages 185–197. <https://doi.org/10.1007/s007040200004>
- Curtis, S., 2008. The El Niño–Southern Oscillation and Global Precipitation. *Geography Compass* 2/3 (2008): 600–619, 10.1111/j.1749-8198.2008.00105.x
- E. Kalnay, M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, Roy Jenne, and Dennis Joseph. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. American Meteorological Society, Vol. 77, No. 3. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)
- Gonzalez, R. A.; Andreoli, R. V.; Cândido, L. A.; Kayano, M. T.; Souza, R. A. F. 2013. A influência do evento El Niño – Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. *Acta Amazonica*, Vol. 43(4): 469-480. DOI: 10.1590/S0044-59672013000400009
- A.M. Grimm. 2003. The El Niño Impact on the Summer Monsoon in Brazil: Regional Processes versus Remote Influences. *Journal of Climate*, Vol. 16: Issue 2, p. 263-280. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<0263:TENIOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0263:TENIOT>2.0.CO;2)
- A.M. Grimm. 2004. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? *Climate Dynamics* volume 22, pages 123–138. <https://doi.org/10.1007/s00382-003-0368-7>
- Holton, J.R. 2004. *Introduction to Dynamic Meteorology*. 4th Edition, Elsevier, Amsterdam, 535 p.

- Huang, B.; Schopf, P. S.; Pan, Z. 2002. The ENSO effect on the tropical Atlantic variability: A regionally coupled model study. *Geophysical Research Letters*, Vol. 29, No. 21, 2039. DOI: 10.1029/2002GL014872
- Julian, P. R.; Chervin, R. M., 1978. A Study of the Southern Oscillation and Walker Circulation Phenomenon. *American Meteorological Society*, 0027-0644/78/1433-1451
- Kajtar, J. B.; Santoso, A.; England, M. H.; Cai, W. 2017. Tropical climate variability interactions across the Pacific, Indian, and Atlantic Oceans. *Climate Dynamics*, Vol. 48, 2173-2190. DOI: 10.1007/s00382-016-3199-z
- Kayano, M. T.; Andreoli, R. V. 2006. Relationships between rainfall anomalies over northeastern Brazil and the El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Geophysical Research* 111: D13102, DOI: 10.1029/2005JD006142
- Kim, J.; Yu, J. 2021. Evolution of Subtropical Pacific-Onset El Niño: How Its Onset Location Controls Its Decay Evolution. *Geophysical Research Letters* Volume 48, Issue 5 e2020GL091345. <https://doi.org/10.1029/2020GL091345>
- Larkin, N. K. e Harrison, D. E. 2005. Global seasonal temperature and precipitation anomalies during El Niño autumn and winter. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L16705, DOI: 10.1029/2005GL022860
- Latif, M.; Grotzner, A. 1999. The equatorial Atlantic oscillation and its response to ENSO. *Climate Dynamics* Vol. 16, 213-218. DOI: 10.1007/s003820050014
- Lau, N.; Nath, M. J. 1996. The role of the “atmosphere bridge” in linking tropical Pacific ENSO events to extratropical SST anomalies. *Journal of Climate* 9:2036-2057
- Lin, J; Qian, T. 2019. A New Picture of the Global Impacts of El Niño-Southern Oscillation. *Scientific Reports* 9, 17543. DOI: 10.1038/s41598-019-54090-5
- Lockwood, J. G., 1984. The Southern Oscillation and El Niño. *Progress in Physical Geography* 1984 8: 102. DOI: 10.1177/030913338400800106

- Losada, T.; Rodríguez-Fonseca, B.; Polo, I.; Janicot, S.; Gervois, S.; Chauvin, F.; Ruti, P. 2010. Tropical response to the Atlantic equatorial mode: AGCM multimodel approach. *Climate Dynamics*, DOI:10.1007/s00382-009-0624-6
- Lubbecke, J. F.; Rodríguez-Fonseca, B.; Richter, I.; Martín-Rey, M.; Losada, T.; Polo, I.; Keenlyside, N. S. 2018. Equatorial Atlantic variability – Modes, mechanisms, and global teleconnections. *WIREs Climate Change*, Vol. 9, Issue 4/e527. DOI: 10.1002/wcc.527
- M. J. McPhaden. 1999. Genesis and evolution of the 1997–98 El Niño. *Science*, 283, pp. 950-954. DOI: 10.1126/science.283.5404.950
- Philander, S. G. H. 1983. El Niño Southern Oscillation phenomena. *Nature* 302, 295-301. DOI: 10.1038/302295a0
- Philander, S. G. H., & Seigel, A. D. 1985. Chapter 33 Simulation of El Niño of 1982–1983. *Elsevier Oceanography Series*, 517–541. DOI:10.1016/s0422-9894(08)70729-3
- Philander, S. G. 1999. El Niño: A Predictable Climate Fluctuation. *National Forum* 79.2: 11-4, ProQuest.
- Rao, V. B.; Hada, K., 1990. Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillation. *Theor. Appl. Climatol.* 42, 81- 91.
- Rasmusson, E. M.; Carpenter, T. H. 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review* 110: 354–384
- Rodríguez-Fonseca, B.; Polo, I.; García-Serrano, J.; Losada, T.; Mohino, E.; Mechoso, C. R.; Kucharski, F. 2009. Are Atlantic Niños enhancing Pacific ENSO events in recent decades? *Geophysical Research Letters*, Vol. 36, L20705, DOI:10.1029/2009GL040048
- Ropelewski, C. F.; Jones, P. D., 1987. An Extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. *Monthly Weather Review*, Vol. 115.

- Schneider, Udo; Becker, Andreas; Finger, Peter; Meyer-Christoffer, Anja; Rudolf, Bruno; Ziese, Markus (2011): GPCP Full Data Reanalysis Version 6.0 at 1.0°: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historic Data. DOI: 10.5676/DWD_GPCP/FD_M_V7_100
- Schwing, F. B., Murphree, T., de Witt, L., & Green, P., 2002. The evolution of ocean and atmosphere anomalies in the Northeast Pacific during the El Niño and La Niña events of 1995–99. *Progress in Oceanography*, this issue. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(02\)00064-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(02)00064-2)
- H. Tokinaga, I. Richter, Y. Kosaka. 2019. ENSO Influence on the Atlantic Niño, Revisited: Multi-Year versus Single-Year ENSO Events. *American Meteorological Society*, Vol. 32, 4585-4600. DOI: 10.1175/JCLI-D-18-0683.1
- Trenberth, K. E., 1976: Spatial and temporal variations of the Southern Oscillation. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 102,639-653
- Trenberth, K. E., 1991: General characteristics of El Niño-Southern Oscillation. *Teleconnections Linking Worldwide Climate Anomalies*. M. Glantz, R. W. Katz, and N. Nicholls, Eds., Cambridge Univ. Press, 13-41.
- Trenberth, K. E. 1997. The Definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 78: Issue 12. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<2771:TDOENO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<2771:TDOENO>2.0.CO;2)
- Trenberth, K. E., 2013. El Niño – Southern Oscillation (ENSO). National Center for Atmospheric Research, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.04082-3>
- Troup, A. J., 1965. The ‘southern oscillation’. *Division of Meteorological Physics*, 551.513.7 : 551.543 : 519.27

Walker, G.; Bliss, E. World weather, iv. memo. r. Meteorol. Soc, v. 3, n. 24, p. 81–95, 1930.

19

Wang, C.; Deser, C.; Yu, J.; DiNezio, P.; Clement, A. 2016. El Niño and Southern Oscillation (ENSO): A Review. Coral Reefs of the World, Vol. 8. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-94-017-7499-4_4

Wu, X.; Okumura, Y. M.; DiNezio, P. N. 2015. What Controls the Duration of El Niño and La Niña Events? American Meteorological Society, P5941–5965. DOI: 10.1175/JCLI-D-18-0681.1

Zebiak, S. E. 1993. Air-Sea Interaction in the Equatorial Atlantic Region. Journal of Climate, Vol. 6: Issue 8, 1567-1586. DOI: 10.1175/1520-0442