UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE EL NIÑO NA PRECIPITAÇÃO DA AMÉRICA DO SUL

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Kelvem Rodrigo de Oliveira

Itajubá, MG, Brasil

2019

INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE EL NIÑO NA PRECIPITAÇÃO DA AMÉRICA DO SUL

---

por

Kelvem Rodrigo de Oliveira

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas.

Orientadora: Drª. Michelle Simões Reboita

Itajubá, MG, Brasil
2019

Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE EL NIÑO NA PRECIPITAÇÃO DA AMÉRICA DO SUL

elaborada por

Kelvem Rodrigo de Oliveira

Como requisito parcial para a obtenção do grau de

Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:

Michelle S. Reboita

Michelle Simões Reboita, Drª. (UNIFEI)
(Presidente/Orientadora)

Cássia G. Dias

Cassia Gabriele Dias, MSc. (UNIFEI)

Vitor Hugo de Almeida Marrafon

Vitor Hugo de Almeida Marrafon, Bel Met. (UNIFEI)

Itajubá, 18 de novembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha orientadora Michelle Reboita e a todos os professores que participaram da minha formação. Agradeço também aos meus amigos Pedro Ygor, Vitor Marrafon, Renan Sales, Jonas Borges por todo apoio durante meu período de formação e todos os demais colegas do curso.

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

INFLUÊNCIA DOS DIFERENTES TIPOS DE EL NIÑO NA PRECIPITAÇÃO DA AMÉRICA DO SUL

AUTOR: KELVEM RODRIGO DE OLIVEIRA
ORIENTADOR: DRª. MICHELLE SIMÕES REBOITA
Local e Data da Defesa: Itajubá, 18 de novembro de 2019.

O fenômeno El Niño indica o aquecimento anômalo das águas do oceano Pacífico Tropical e influência a circulação atmosférica global causando anomalias na precipitação da América do Sul. Trabalhos anteriores classificam este fenômeno em três tipos de El Niño: o clássico (EP), o Modoki (CP) e ambos concomitantemente (MIX). Como os estudos até então existentes se restringem ao ano 2010, o objetivo do presente estudo é atualizar a classificação dos eventos ENOS até meados de 2019. Para tanto, foram utilizados dados de temperatura da superfície do mar (TSM) do Oceano Pacifico e o método PTN (*Pattenr Correlation*). No período de 1950 a 2019 foram identificados 3 casos de EP, 12 de CP e 8 de MIX. Considerando a estação da primavera, os impactos de cada um tipo desses eventos na precipitação da América do Sul são; valores negativos de precipitação em todo o norte e nordeste da Amazônia (Venezuela, Norte do Brasil, Suriname e Guianas) e valores positivos de precipitação na região sudeste da América do Sul (Norte da Argentina, Sul do Brasil, Sul do Paraguai e Uruguai).

Palavras-chave: El Ñino. América do Sul. Classificação.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Diagrama esquemático da célula de circulação zonal de Walker considerando (a) anos neutros e (b) anos com ocorrência de eventos El Niño.....1
FIGURA 2- Áreas de ocorrência dos tipos de El Ñino 4, 4.3,3 e 1+2.....5
FIGURA 3: Índice *Oceanic Niño Index* (ONI). Valores em vermelho indicam anos de El niño e anos em azul indicam anos de La Niña. Adaptada de NOAA (2019).....7
FIGURA 4 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP durante os meses de primavera.....9
FIGURA 5 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo EP durante os meses de primavera.....9
FIGURA 6 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo MIX durante os meses de primavera. 10
FIGURA 7 - Anomalia de precipitação(mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP durante os meses de primavera.....11
FIGURA 8 - Anomalia de precipitação(mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo EP durante os meses de primavera.....11
FIGURA 9 - Anomalia de precipitação(mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo MIX durante os meses de primavera.....12
FIGURA 10 - Anomalia de altura geopotencial (850 hPa colorido; 500hPa linhas)para os eventos do tipo CP nos meses de primavera.....13
FIGURA 11 - Anomalia de altura geopotencial (850 hPa colorido; 500hPa linhas)para os eventos do tipo EP nos meses de primavera.....14
FIGURA 12 - Anomalia de altura geopotencial (850 hPa colorido; 500hPa linhas) para os eventos do tipo MIX nos meses de primavera.....14
FIGURA 13 - Perfil de anomalia de velocidade vertical na latitude de 7°S para evento de El Niño tipo CP.....15
FIGURA 14 - Perfil de anomalia de velocidade vertical na latitude de 7°S para evento de El Niño tipo EP.....16
FIGURA 15 - Perfil de anomalia de velocidade vertical na latitude de 7°S para evento de El Niño tipo MIX.....16

FIGURA 16 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP negativo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....18
FIGURA 17 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....18
FIGURA 18 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....19
FIGURA 19 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo EP Neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....19
FIGURA 20 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo EP positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....20
FIGURA 21 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo MIX neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....20
FIGURA 22 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo MIX positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....21
FIGURA 23 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP negativo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....21
FIGURA 24 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....22
FIGURA 25 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....22
FIGURA 26 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo EP neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....23

FIGURA 27 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo EP positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....23
FIGURA 28 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo MIX neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....24
FIGURA 29 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo MIX positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.....24

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Classificação dos eventos de El Ñino em EP, CP e MIX no periodo de 1950 a 2019.....6
TABELA 2 - Classificação dos tipos de El Niño para o Atlântico tropical sul segundo anomalias de TSM.....16

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AS: América do Sul.

ATSM: Anomalia de TSM.

$ATSM_R$: Anomalia de TSM residual.

CP: *Central Pacific*.

ENOS: El Niño Oscilação Sul.

EN: El Niño.

EP: *Eastern Pacific.*

ERSST: Temperatura da Superfície do Mar Reconstruída.

ICOADS.Conjunto de Dados Compreensivos do Oceano-Atmosfera Internacional.

IndiceN: Série do índice do Niño, que pode ser Niño4 ou Niño1+2.

JBN: Jatos de Baixos Níveis.

LN: La Nina

NOAA: *National Oceanic and Atmospheric Administration*

PREC:*Precipitation Reconstruction Dataset*

PSA: Pacífico-América do Sul.

PSA1: Pacífico-América do Sul 1.

PSA2: Pacífico-América do Sul 2.

r: Correlação.

Std: Desvio-padrão.

TSM: Temperatura da Superfície do Mar Padrão.

ZCAS: Zona de Convergência da América do Sul.

ZCIT: Zona de Convergência intertropical.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....vii
LISTA DE TABELAS.....x
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....xi
1. INTRODUÇÃO **1**

2. MATERIAL E MÉTODOS 3

2.1Dados.....3
2.2 Classificação dos tipos de El Niño.....4

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 7

3.1 Casos dos diferentes tipos de Niño.....7
3.2 Influência dos diferentes tipos de Niño na precipitação da AS.....10
3.3 Casos de Niño e Impactos do oceano Atlântico Tropical.....17
4. **CONCLUSÂO.....24**

1. INTRODUÇÃO

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um dos fenômenos mais importantes para a variabilidade climática na escala interanual, influenciando a circulação atmosférica em escala global. (KOUSKY et al., 1984; KOUSKY e KAYANO, 1994; GRIMM e AMBRIZZI, 2009; REBOITA e SANTOS, 2015; ANDREOLI et al., 2016; KAYANO et al., 2016; PEREIRA et al., 2017.). O El Niño (EN) ocorre no Oceano Pacífico tropical, e é definido como o aquecimento anômalo da temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacifico tropical central-leste (fase quente), enquanto a La Niña (LN) é o resfriamento anômalo desta região (fase fria). Essas duas fases do ENOS afetam de forma diferente a circulação Walker deslocando essa célula do setor oeste para o centro-leste do Oceano Pacifico, alterando assim a ocorrência de subsidência para o norte da América do Sul (AS) e Oceano Atlântico. Na fase de atuação de EN é esperado enfraquecimento dos ventos alísios, enquanto na fase de LN, um fortalecimento, comparado ao padrão climatológico. (ROPELEWSKI e HALPERT 1987; KAYANO et al., 1988; RAO e HADA, 1990; GRIMM e AMBRIZZI, 2009; LUCYRIO et al.,2019).

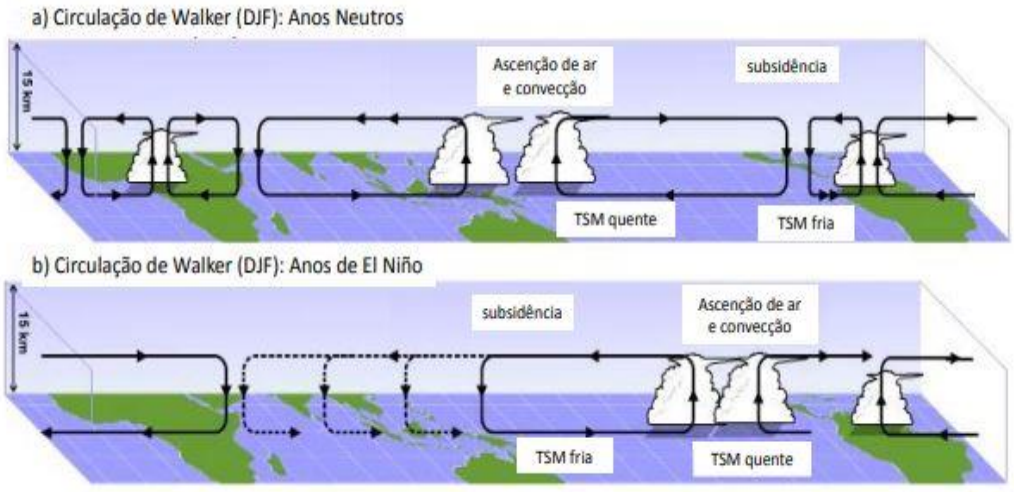

Figura 1- Diagrama esquemático da célula de circulação zonal de Walker considerando (a) anos neutros e (b) anos com ocorrência de eventos El Niño. Adaptado de Reboita e Santos (2015) apud: http://www.personal.psu.edu/czn115/blogs/meteo241/2%20Walker%20Citculation%20and%20El%20Nino.j peg

O El Niño contribui para a intensificação do jato subtropical e do jato de baixos níveis a leste dos Andes, que pode transportar mais umidade da região

Amazônica para o sudeste da América do Sul (TEDESCHI et al., 2013; ANDREOLI et al., 2016).

O ENOS influencia também a região subtropical e extratropical da América do Sul através dos trens de ondas de Rossby, denominados Padrão Pacífico-América do Sul (PSA), que são acionados devido ao aquecimento anômalo no Pacífico equatorial. Este padrão é dividido em dois modos distintos. O PAS1 mostra um padrão de trem de onda do Pacífico central para a Argentina, associado a diminuição de precipitação na região Nordeste do Brasil ao aumento de precipitação no sudeste da AS durante os meses de verão. O PSA2 mostra um padrão de trem de onda que começa próximo a Austrália e vai até o Atlântico tropical, associado a déficits de precipitação na AS central e condições de maior umidade na região da Argentina e Uruguai (MO e NOGUÉS-PAEGLE, 2001).

Estudos como Wang e Weisberg, (2000), Ashok et al., (2007), Kao e Yu, (2009), Yu e Kim, (2013), Andreoli et al. (2016) apresentam a classificação do ENSO em dois tipos distintos de acordo com posicionamento das anomalias positivas de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico equatorial. Quando as anomalias de TSM ocorrem na região oriental do Pacifico, o evento é denominado Pacífico Leste (EP), já quando as anomalias positivas de TSM ocorrem próximas da linha de data, o evento é denominado Pacífico Central (CP) (KAO e YU, 2009) ou Modoki (ASHOK et al., 2007). Porém, o estudo de Yu e Kim (2013) sugeriu a existência de um terceiro tipo de ENSO, chamado MIX, que ocorre quando os tipos CP e EP coexistem.

O estudo de Andreoli et al. (2016) aplicaram a metodologia de Yu e Kim (2013), verificando no período de 1900 a 2010 a ocorrência de anomalias positivas de precipitação em todo o sudeste e sul do Brasil na presença no Niño EP, assim como no norte da Argentina, Uruguai e na costa do Peru e do Equador. As anomalias positivas de precipitação do Niño CP se restringem a região sul do Brasil e norte da Argentina e Uruguai, tendo valores negativos em quase toda a costa do Chile e na região centro-sul da Argentina.

Tendo em vista que o acoplamento oceano-atmosfera depende do tipo de ENOS, seus efeitos podem divergir ou até mesmo mostrar padrões de anomalias opostas em algumas regiões (TASCHETTO e ENGLAND, 2009; TEDESCHI et al., 2013). Como exemplo, valores de precipitação negativa no norte da AS, assim como o excesso de precipitação no sudeste é mais acentuada para o tipo EP do que para

o tipo CP (TEDESCHI et al., 2013; ANDREOLI et al., 2016). Os estudos de Brito, (2011), Hill et al. (2011) e Tedeschi et al. (2013) associaram a intensificação tanto da Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS) quanto da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) nos eventos de tipo CP. Sendo assim, um melhor entendimento de diversos eventos afetados pelo ENOS se mostra essencial para melhor compreensão do clima da AS.

Diante do exposto, esse estudo tem como objetivo estender a classificação dos tipos de Niño de Andreoli et al. (2016), até meados de 2019, identificar o El Niño de 2014/2015 estudado por Pereira et al. (2017), bem como, verificar o impacto dos diferentes tipos de El Niño na precipitação da América do Sul. Esse estudo justifica-se pelo fato de servir como indicativo dos impactos dos diferentes tipos de eventos EN na América do Sul, o que contribui para a previsão climática sazonal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Dados

Para o presente estudo foram utilizados dados de temperatura da superfície do mar reconstruída - *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* (ERSST) que constitui um conjunto de dados mensais de temperatura da superfície do mar global, derivado do Conjunto de Dados Compreensivos do Oceano-Atmosfera Internacional - *International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set* (ICOADS). A resolução do ERSST é de de 2° de latitude por 2° de longitude. O período dos dados é de janeiro de 1854 a Março de 2019. Também são fornecidas anomalias calculadas com relação ao período de 1971-2000. No presente estudo foram utilizados os dados do periodo de janeiro de 1950 a Março de 2019. Esta série de dados é diponibilizada pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e esta disponivel em:
https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.v5.html.

Para a precipitação foi utilizado o conjunto de dados de reconstrução de precipitação - *Precipitation reconstruction Dataset* (PREC), que é uma análise da

precipitação mensal global construída em uma grade de 2,5° de lattitude por 2,5° de longitude para o período de 1948 até Março de 2019. A porção terrestre dessa análise global é definida pela interpolação de observações de medidas em mais de 17.000 estações de coleta. A análise da precipitação oceânica (PREC/O) é produzida por reconstrução de observações históricas de indicadores sobre ilhas e áreas continentais. Esta série de dados é diponibilizada pela NOAA em: https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.prec.html#plot.

Para as componentes horizontais e vertical do vento, assim como para altura geopotencial, foram utilizados dados do *Twentieth Century Reanalysis V2* (COMPO et al. 2011). O conjunto de dados está disponível a cada 6 horas para o período de 1871 a 2012 com grade global de 2,0° de latitude e 2,0° de longitude e 24 níveis de pressão (hPa): 1000, 950, 900, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10. Estes dados estão disponíveis em: https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.20thC_ReanV2.pressure.mm.html.

2.2 Classificação dos tipos de EN

Inicialmente foi removida a tendência linear dos dados de TSM do período de 1950 a 2019. O passo seguinte foi conhecer a contribuição do tipo de ENOS EP nas anomalias de TSM sem a influência do CP, e similarmente do ENOS CP sem a contribuição do EP. Para saber a contribuição do tipo de Niño EP, retira-se a influência do Niño4 (índice na região de Niño 4). Para o CP, retira-se a influência do Niño1+2 (índice na região de Niño 1+2) (Figura 1).

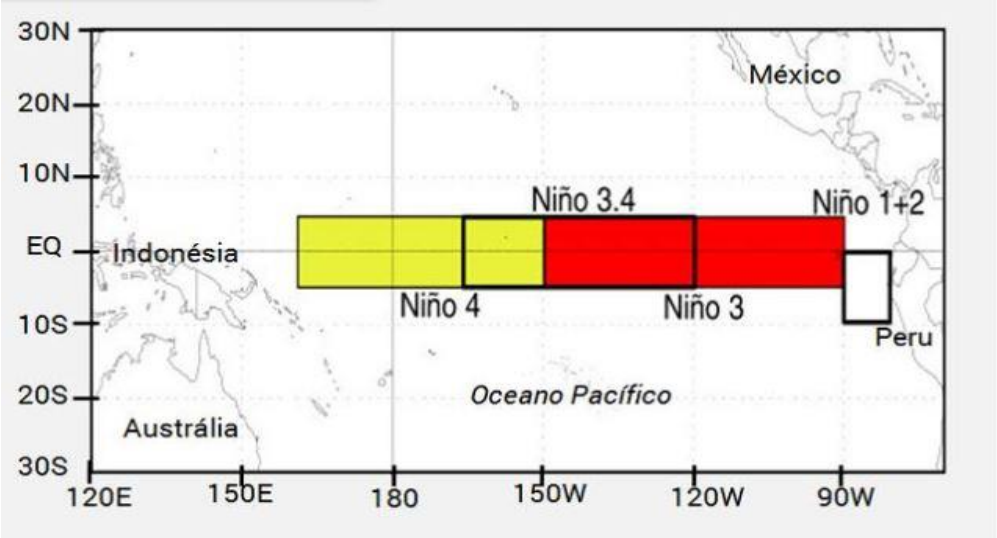

Figura 2: Areas de ocorrencia dos tipos de El Ñiño 4, 4.3,3 e 1+2.

O resultado disso, será chamado de anomalia residual e a expressão para obtenção dessas anomalias é dada por Ashok et al. (2007).

$$\mathrm{ATSM_R} = ATSM - r(ATSM, IndiceN) * std(ATSM) * \frac{IndiceN}{std(IndiceN)} \quad (1)$$

Em que, ATSM é a anomalia de TSM, $\mathrm{ATSM_R}$ a anomalia de TSM residual, IndiceN a série do índice do Niño, que pode ser Niño4 ou Niño1+2, std o desvio-padrão e r a correlação.

Na literatura, quando se quer isolar o efeito de um componente em dada variável é mais usual encontrar a seguinte redação “que uma variável foi subtraída do resultado obtido na regressão entre ela e a outra variável”. De fato, rearranjando os termos de (1) se obtém o coeficiente angular obtido na técnica de regressão (DEBORAH e RAMSEY, 2009), como mostra a equação 2.

$$\mathrm{ATSM_R} = ATSM - r(ATSM, IndiceN) * \frac{std(ATSM)}{std(IndiceN)} * IndiceN \quad (2)$$

Em que, $\mathrm{ATSM_R}$ para o Niño EP é obtida considerando a série do índice do Niño4 no lugar de IndiceN, para o CP é obtido considerando a área 1+2.

A etapa seguinte foi calcular a média $\mathrm{ATSM_R}$ na região 10°N-10°S e 160°E e 80°W, o mesmo é feito para a série original de TSM (a qual apenas foi retirada a tendência). Após esta etapa calcula-se a diferença entre a série original e da $\mathrm{ATSM_R}$. O resultado é considerado um índice para classificar o tipo de ENOS. Essa metodologia é chamada de *pattern correlation,* e foi definido por YU e KIM (2013).

Um evento ENOS do tipo EP ocorre quando sua média dos meses de verão é maior do que 0,1. Um evento CP ocorre quando esta média é menor do que -0,1 e um evento MIX quando a média ocorre entre -0,1 e 0,1 (YU e KIM, 2013).

Os anos de ENOS durante o período de 1950 a 2019 foram identificados usando o Índice Oceânico Niño *Oceanic Niño Index* (ONI), que tem por definição a média de 3 meses de anomalias de TSM na área limitada a 4°N-4°S e 170°E-120°W. Quando os valores do Índice ONI ultrapassam 0,5°C por mais de 5 meses é identificado como um evento de ENOS. Aqui serão utilizados os mesmos critérios usados pelo índice ONI para a caracterização de um evento ENOS. O índice ONI está disponível em https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. A tabela 1 mostra a classificação dos tipos de ENOS em CR, EP e MIX, para o período de 1950 a 2019.

A fim de verificar se há diferença nos padrões das anomalias de precipitação na AS e Oceano atlântico durante os diferentes tipos de EN e as anomalias de TSM, foi realizada a seguinte análise:

- calculou-se a anomalia de TSM no Atlântico tropical sul (0° a 20°S e 10°E a 30°W)

- identificou-se os casos de EP que ocorreram com anomalia positiva no Atlântico (acima de 0.5°C), negativa (-0.5°C) e neutra (entre -0.5ºC e 0.5°C). A mesma análise foi realizada para os outros 2 casos de Niño (Tabela 2).

Após a classificação dos eventos de El Niño, foram plotadas imagens de anomalias de TSM, precipitação, componentes horizontais e vertical do vento e altura geopotencial em 850 hPa e 500 hPa. para a caracterização de cada tipo de evento, assim como para análises de seus efeitos na AS e Oceano Atlântico.

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1.0
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.8

Figura 3: Índice *Oceanic Niño Index* (ONI). Valores em vermelho indicam anos de El niño e anos em azul indicam anos de La Niña. Adaptada de NOAA (2019)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Casos dos diferentes tipos de Niño

A Tabela 1 mostra classificação de eventos de El Niño no período de 1950 a 2019. Ao todo são 12 casos do tipo CP, 3 casos do tipo EP e 8 do tipo MIX, contabilizando 23 casos classificados no total. Os casos classificados de 1950 a 2010 são similares a classificação de Andreoli et al. (2016) com exceção dos anos de 2006/2007, sendo aqui classificado como do tipo CP e 1986/1987 como tipo EP. Os eventos de El Niño de 2014/2015 e 2018/2019 são classificados como MIX e CP, respectivamente. O evento de El Niño ocorrido no ano de 1979/1980 não havia sido classificado no estudo de Andreoli et al. (2016) e neste estudo recebeu a classificação do tipo CP. Nota-se uma maior ocorrência do tipo CP nas últimas 3 décadas, assim como a ocorrência dos únicos 3 casos de Niño EP neste período. Os eventos do tipo MIX ocorrem espalhados através das décadas.

Tabela 1 - Classificação dos eventos de El Ñiño em EP, CP e MIX no período de 1950 a 2019. Anos em vermelho representam eventos não classificados ou com classificações distintas de Andreoli et al. (2016)

EL Ñino	
EP	1982–1983; 1997–1998; 1986–1987.
CP	1957–1958; 1965–1966; 1968–1969; 1977–1978; 1979–1980; 1987–1988; 1994–1995; 2002–2003; 2004–2005; 2006–2007;2009–2010; 2018–2019.
MIX	1951–1952; 1953–1954; 1963–1964; 1969–1970; 1972–1973; 1976–1977; 1991–1992; 2015-2016.

.

De modo similar à literatura utilizada (YU e KIM, 2013; ANDREOLI et al., 2016; KAYANO et al.,2016; PEREIRA et al., 2017), eventos de El Niño do tipo CP nos meses de primavera são os que mostram os maiores valores de anomalias positivas de TSM na região central do Pacífico tropical, com destaque perto da linha do equador, como mostrado na figura 4.

Os eventos associados ao El Niño de tipo EP mostram anomalias positivas de TSM no Pacífico tropical leste. A partir de 150°W até a costa da AS com os valores mais intensos próximos à Linha do Equador, assim como anomalias negativas de TSM no Pacífico tropical ocidental. Este tipo de Niño é o que apresenta os maiores valores de anomalias, tanto positiva quanto negativa, quando comparados aos outros tipos de EN (Figura 5).

Os eventos de El Niño do tipo MIX apresentam o mesmo padrão mostrado pelo Niño CP, com os maiores valores de anomalia de TSM no Pacifico central entre as latitudes de 10°sul e 10°Norte. Entretanto esses valores são menores que o tipo CP, como mostrado na figura 6.

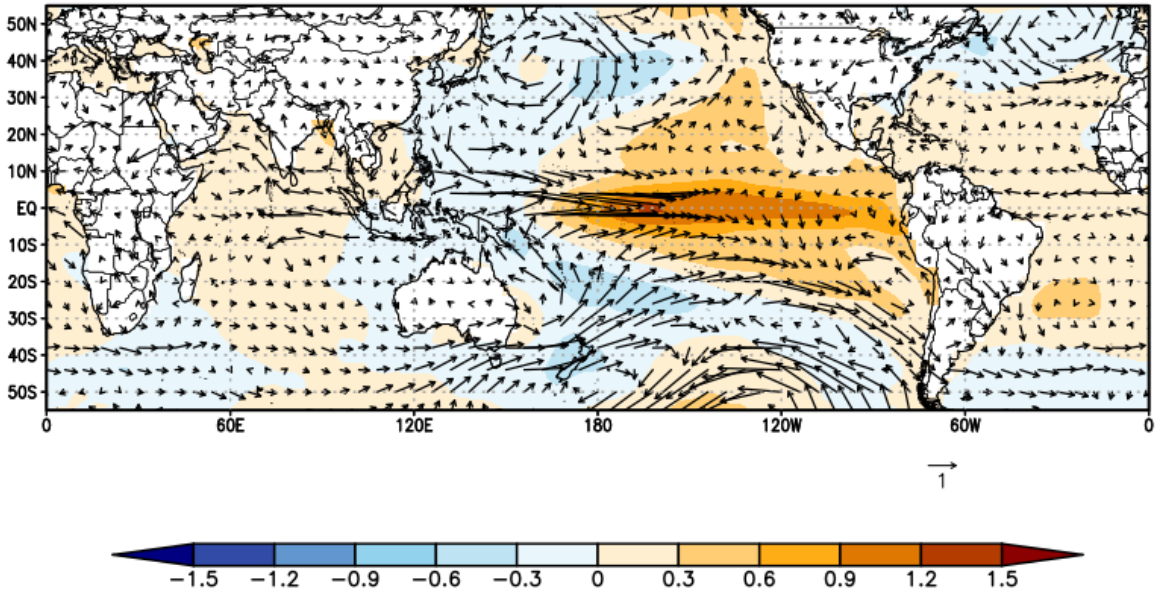

Figura 4 – Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP durante os meses de primavera.

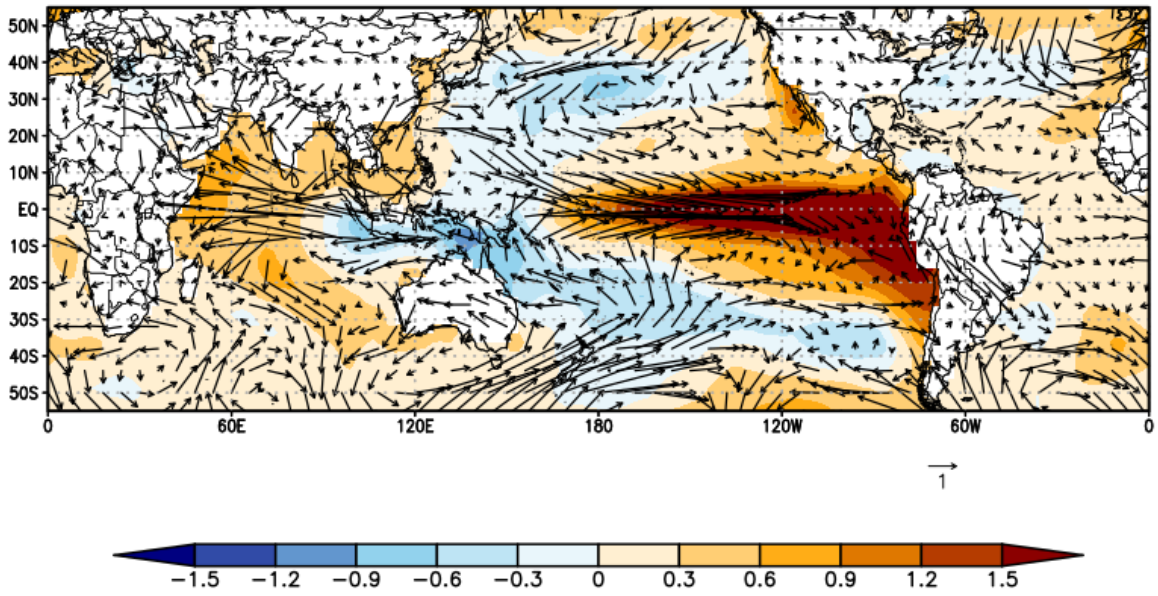

Figura 5 – Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo EP durante os meses de primavera.

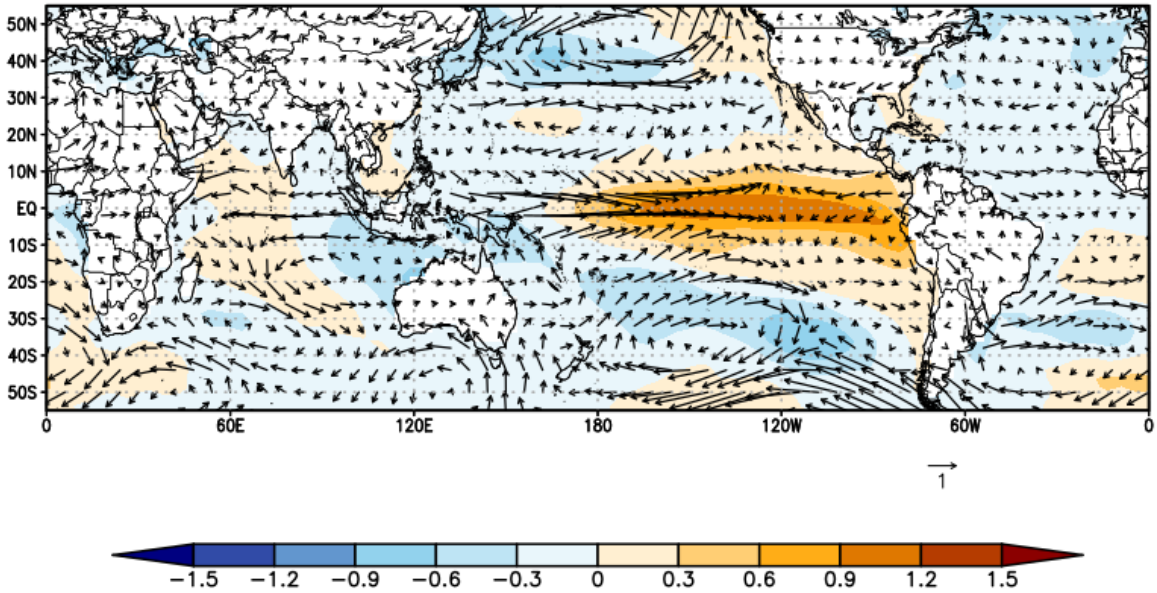

Figura 6 – Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo MIX durante os meses de primavera.

Os padrões de TSM mostrados são similares ao do trabalho de Andreoli et al. (2016). O estudo de Pereira et al. (2017) classifica como tipo MIX o evento de ENOS de 2015/2016 devido às características espaciais e temporais das anomalias de TSM no oceano Pacífico tropical. Esses resultados são confirmados nesse estudo utilizando o índice PTN.

3.2 Influência dos diferentes tipos de Niño na precipitação da AS

Nos eventos de Niño CP é observado valores de anomalia negativa de precipitação em todo o norte e nordeste da Amazônia (Venezuela, Norte do Brasil, Suriname e Guianas) e na região central da Argentina. Valores positivos de precipitação são notados principalmente na região Sudeste da AS (Norte da Argentina, Sul do Brasil, Sul do Paraguai e Uruguai). Anomalias negativas de precipitação também são observadas no Oceano Pacífico e Atlântico, nas cercanias de 10°Norte, como mostrado na Figura 7.

Nos eventos de Niño EP são apresentados os maiores valores positivos de anomalia de precipitação na região sudeste da AS, assim como altos níveis de precipitação no norte da Bolívia e em partes do Equador e Colômbia. Os valores negativos de precipitação do Niño EP também são os mais intensos, se extendendo do norte da AS até a região sudeste do Brasil. Valores negativos de precipitação ocorrem no Atlântico desde 10°N até 25°S e valores de anomalia positivos são

observados em todo o Pacífico equatorial e próximo a costa da América Central (Figura 8).

Os eventos de El Niño MIX mostram o mesmo padrão apresentado pelos outros tipos, valores positivos de precipitação no sudeste da AS e valores negativos na região norte da AS, porem com menor intensidade. Valores negativos de precipitação são vistos no Atlântico, nas cercanias de 10°N e próximos a costa da Bolivia. Valores positivos são vistos em todo o Pacífico equatorial (Figura 9).

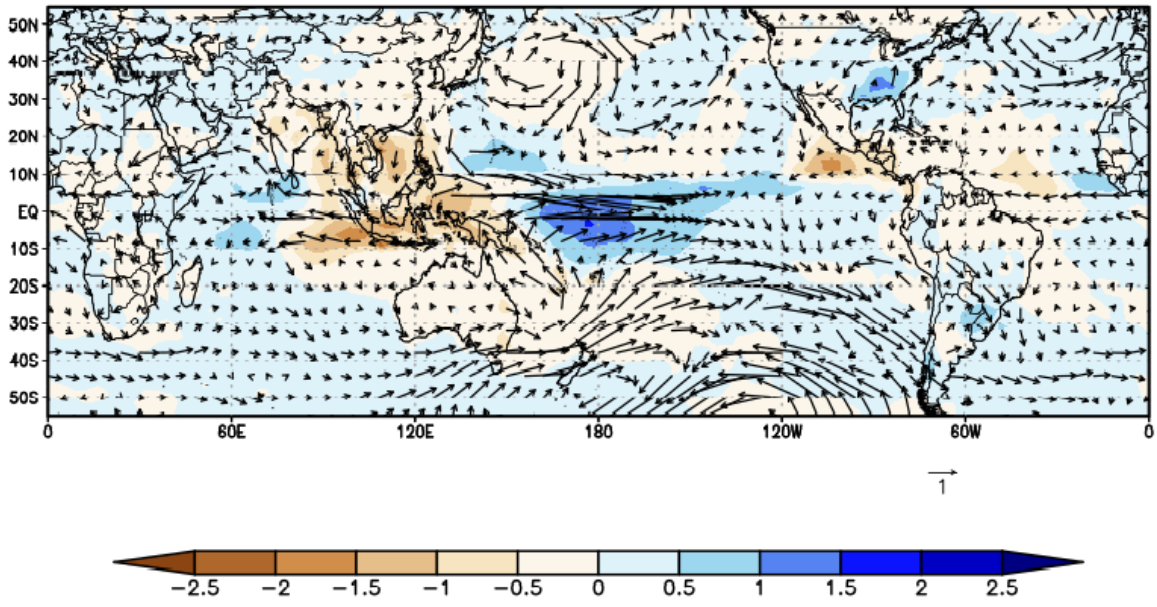

Figura 7 - Anomalia de precipitação(mm; colorido) e vento (vetores; intensidade em ms-¹) para os eventos do tipo CP durante os meses de primavera.

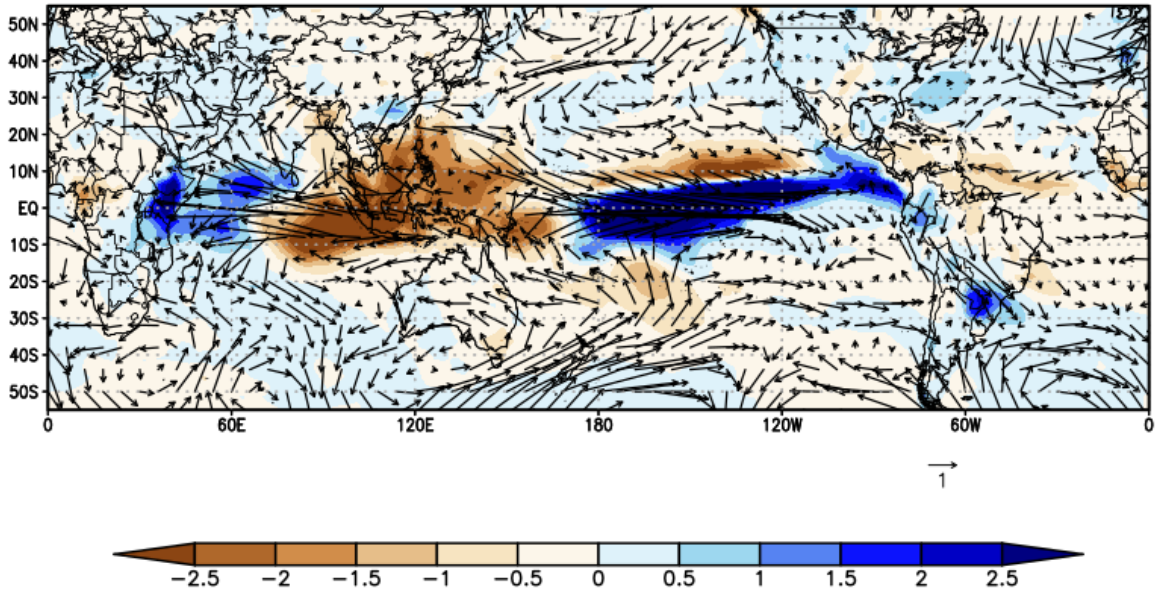

Figura 8 - Anomalia de precipitação(mm; colorido) e vento (vetores; intensidade em ms-¹) para os eventos do tipo EP durante os meses de primavera.

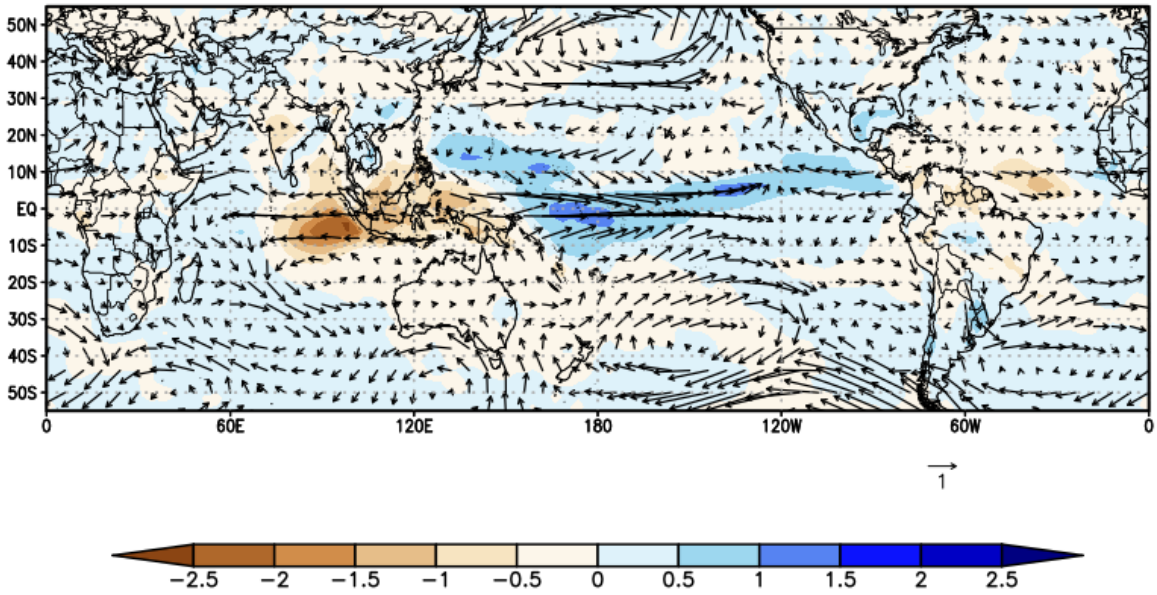

Figura 9 - Anomalia de precipitação(mm; colorido) e vento (vetores; intensidade em ms-¹) para os eventos do tipo MIX durante os meses de primavera.

Assim como nos estudos de Silva e Ambrizzi (2004), Tedeschi et al. (2013), Andreoli et al. (2016), Pereira et al. (2017) e outros autores, a redução dos valores de precipitação no norte e nordeste da AS está associada com os movimentos descentes da célula de Walker anômala. Na região sudeste da AS, o excesso de precipitação está relacionado com anomalias negativas de altura geopotencial sobre parte do sudeste da AS, favorecendo o deslocamento dos Jatos de Baixos Níveis (JBN) para a região (Figuras 10, 11 e 12) que transporta umidade dos trópicos para os subtrópicos.

Anomalias de altura geopotencial positivas (negativas) indicam maiores (menores) pressões e dificultam (facilitam) a convecção. Assim como no estudo de Tedeschi et al. (2013), Andreoli et al. (2016) e Pereira et al. (2017) nos eventos de tipo CP e EP, e MIX são notadas grandes áreas de altura geopotêncial negativa, com centros de baixa pressão nos oceanos Pacífico e Atlântico, nas latitudes de 20°S a 65°S. Entre os tipos de Niño, os eventos EP possuem os maiores valores de anomalia de altura geopotencial. Como consequência, é observado o deslocamento dos JBN da AS em direção ao sul, favorecendo anomalias positivas de precipitação na região. Uma mudança no padrão do trem de ondas de Rossby muito similar ao PSA1 também é verificado. A circulação anômala de Walker intensifica movimentos

subsidentes sobre a AS equatorial entre 70°W a 55° W, que contribui para as condições de Precipitação negativa (Figuras 10, 11 e 12).

Também é observado um padrão de onda que se propaga do sul da Austrália em direção à AS. Esse padrão de onda inicia com um centro de anomalia positiva de altura geopotêncial ao sul do Pacifico oriental e tem seus maiores valores próximos a latitude de 110°O (Figuras 10, 11 e 12). As maiores áreas de anomalia de altura geopotêncial positiva aparecem nos casos de Niño MIX (Figura 12).

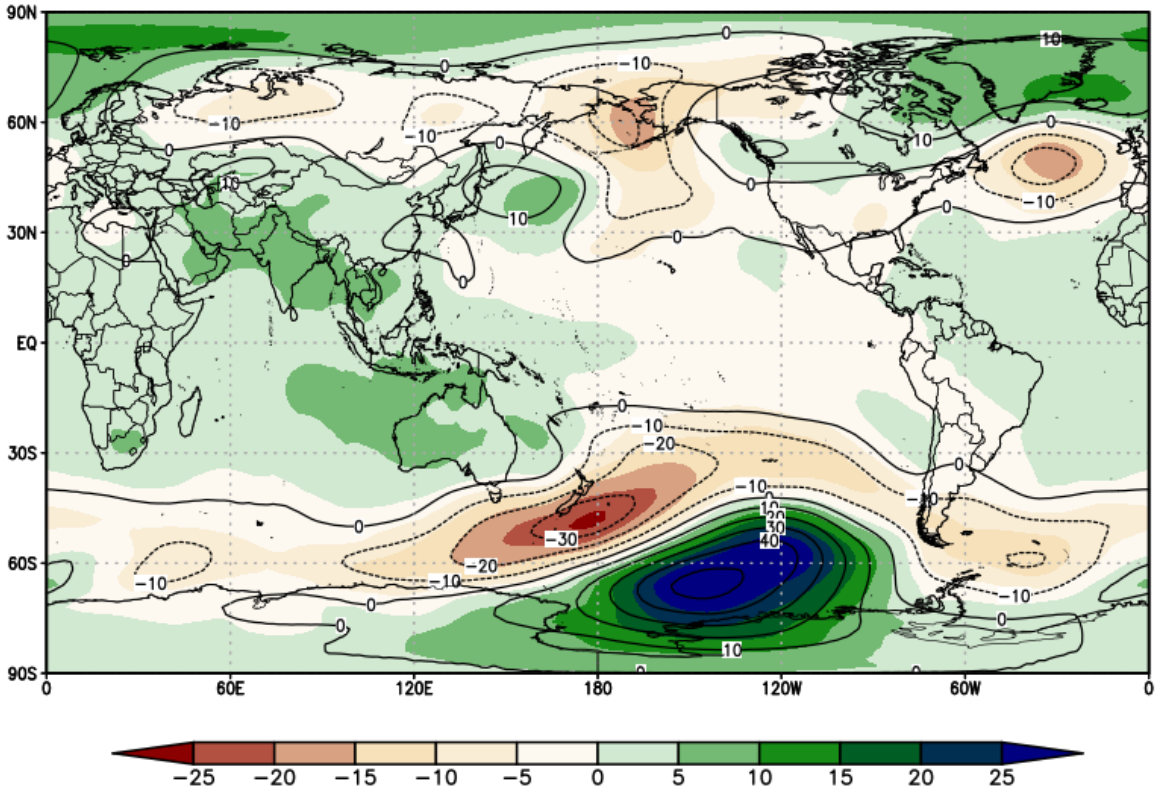

Figura 10 - Anomalia de altura geopotencial (850 hPa colorido; 500hPa linhas) para os eventos do tipo CP nos meses de primavera.

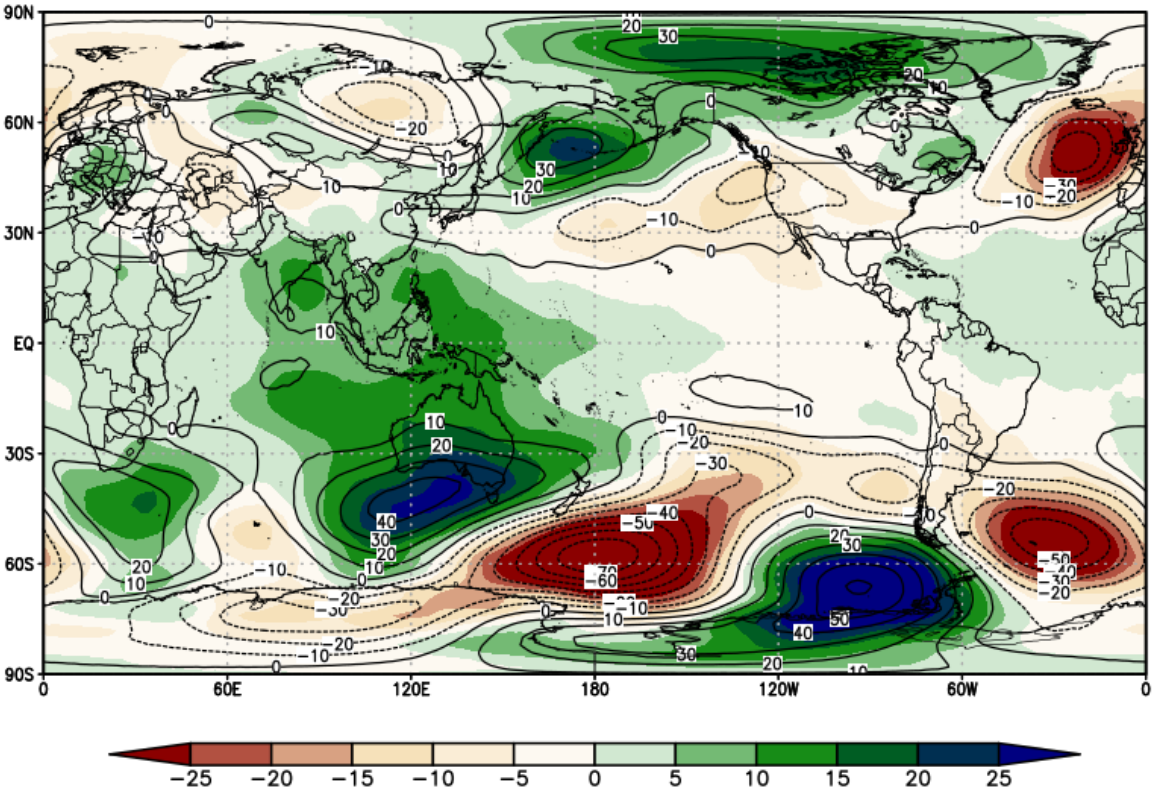

Figura 11- Anomalia de altura geopotencial (850 hPa colorido; 500hPa linhas) para os eventos do tipo EP nos meses de primavera.

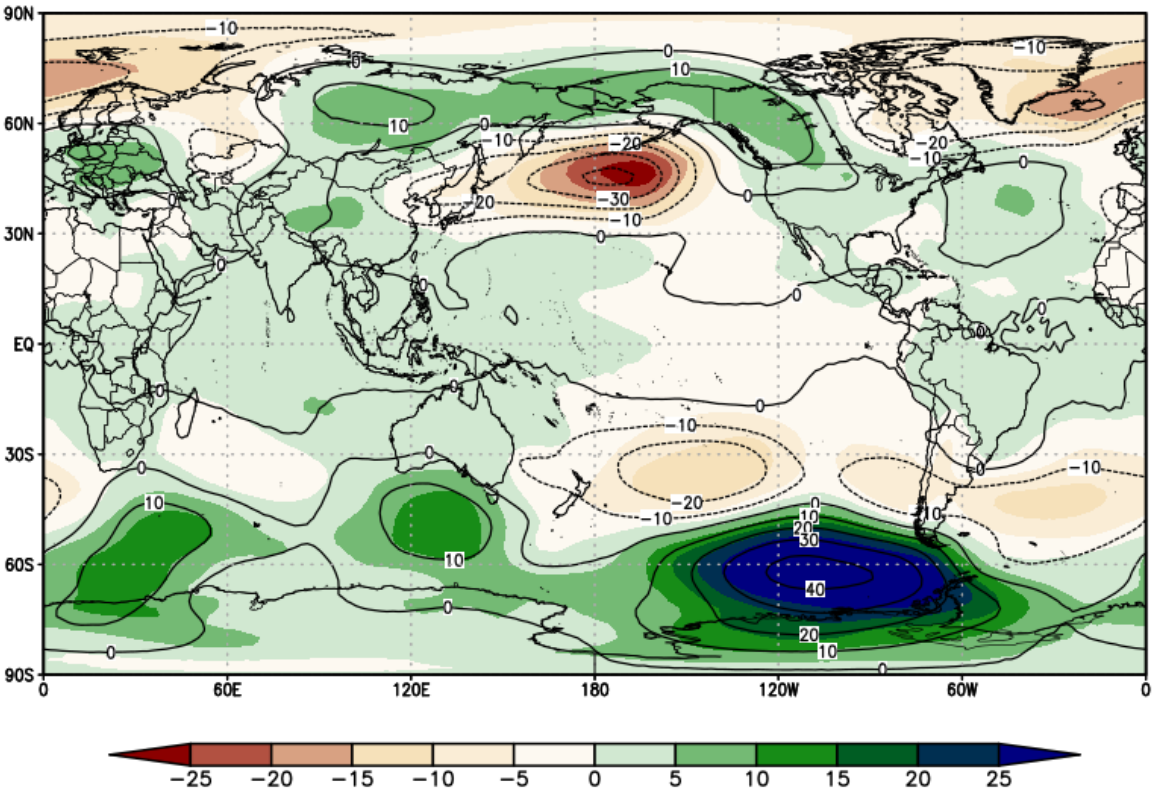

Figura 12- Anomalia de altura geopotencial (850 hPa colorido; 500hPa linhas) para os eventos do tipo MIX nos meses de primavera.

Apesar do corte transversal ter uma diferença de 3°, e dos períodos de estudo serem distintos, o padrão dos resultados se assemelham ao estudo de Andreoli et al. (2016) para os meses de primavera, assim como o estudo de Kayano et al. (2016). Durante todos os eventos de El Niño é possível observar movimentos ascendentes em grandes áreas do pacífico central. Eventos de Niño CP demonstram movimentos anômalos ascendentes ao longo do equador nas longitudes entre 160°E e 140°W. Eventos do tipo EP tem movimentos ascendentes nas latitudes de 165°E-100W, assim como nos eventos do topo MIX são observados movimentos ascendentes na latitude de 170°E à 150°W. Movimentos subsidentes são principalmente vistos no Pacífico oriental entre as latitudes de 100°E à 160°E (Fguras 13, 14 e 15).

Os resultados mostram padrões semelhantes de movimento subsidente para os eventos de El Niño CP e MIX na latitude de 70°W (Oeste da Amazônia) intensificados pela célula anômala de walker, assim como nas latitudes de 60°W a 40°W (nordeste brasileiro) causando anomalias de precipitação negativa na região. Movimentos ascendentes são vistos na latitude de 75°W, proximos a costa da Bolívia. Os eventos do tipo EP mostram uma maior área de ocorrência de subsidência nas entre 70°W e 63°W e também entre 50°W a 40°W. Movimentos ascendentes são observados na longitude de 80°W (Fguras 13, 14 e 15).

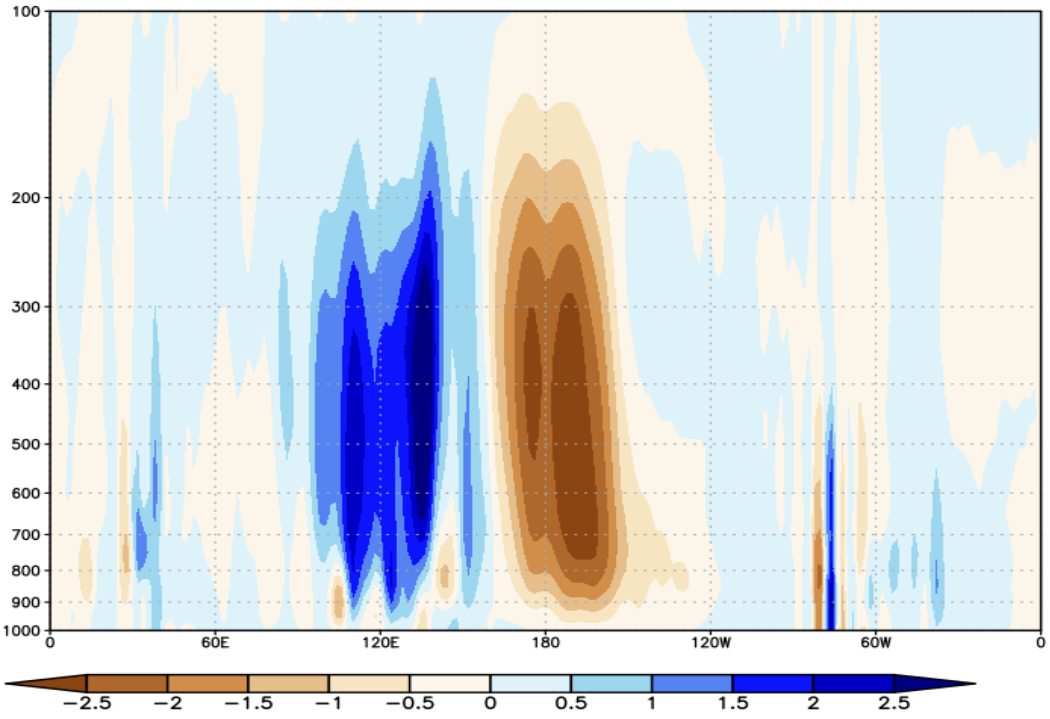

Figura 13 – Perfil de anomalia de velocidade vertical na latitude de 7°S para evento de El Niño tipo CP.

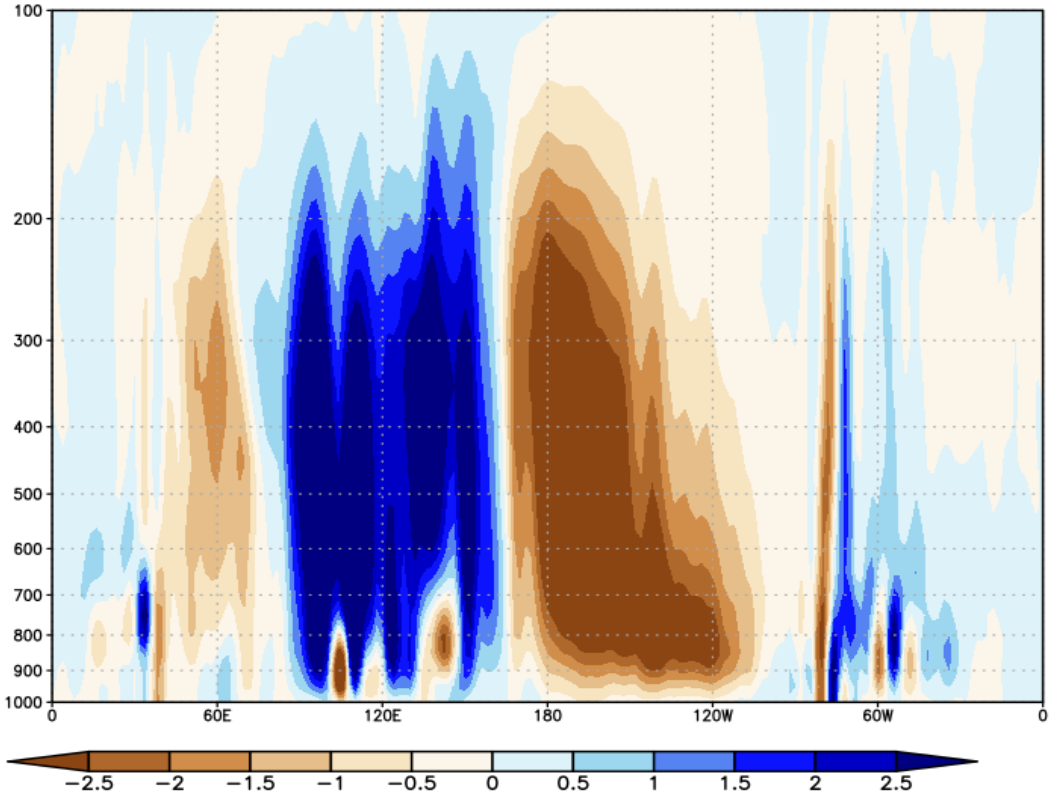

Figura 14- Perfil de anomalia de velocidade vertical na latitude de 7°S para evento de El Niño tipo EP.

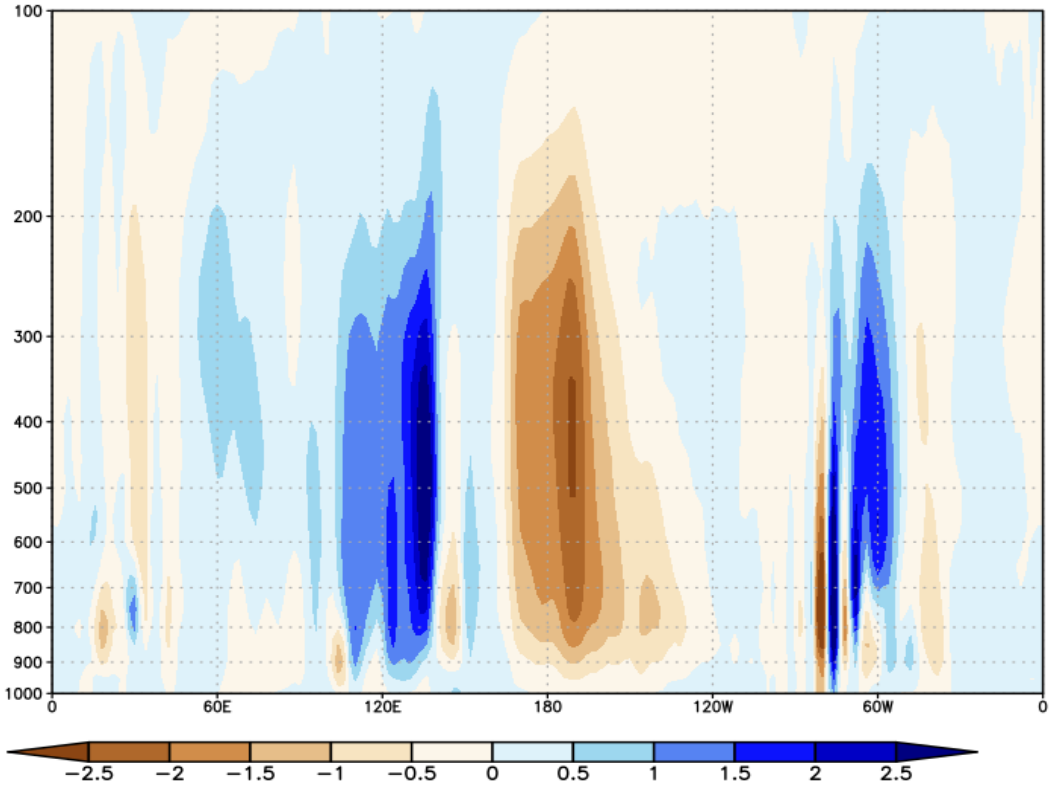

Figura 15- Perfil de anomalia de velocidade vertical na latitude de 7°S para evento de El Niño tipo MIX

3.3 Casos de Niño e Impactos do oceano Atlântico Tropical

Não só o oceano Pacífico impacta o clima da AS, o Atlântico também. Por exemplo, quando há anomalias positivas de TSM no Atlântico Tropical, há anomalias positivas de precipitação no litoral norte do nordeste (REBOITA e SANTOS, 2015). Portanto, para verificar se há diferença nos padrões das anomalias de precipitação na AS durante os diferentes tipos de EN e as anomalias de TSM, foi realizada a seguinte classificação:

Tabela 2- Classificação dos tipos de El Niño para o Atlântico tropical sul segundo anomalias de TSM.

Niño	TSM ATS -	TSM Neutra	TSM ATS+
EP		1982-1983;1986-1987	1997-1998
CP	1977-1978;	1957-1958;1968-1969;1979-1980; 1994-1995;2002-2003;2004-2005; 2006-2007;2009-2010;	1965-1966;2018-2019
MIX		1951-1952;1953-1954;1976-1977; 1991-1992;2015-2016	1963-1964;1972-1973

A maioria dos casos de El Niño foi classificada como neutra, tendo apenas 5 casos classificados como positivos e um caso negativo(Tabela 2). É possivel ver nas imagens de anomalia de TSM do (Figuras 16, 17 e 18) que os valores em grande maioria o Oceano Atlântico são muito próximos a zero, principalmente na região central do oceano. Porém anomalias positivas de TSM são encontradas próximo a costa do nordeste brasileiro nos eventos de Niño CP, neutro e EP positivos e na costa africana no caso de Ninõ CP Negativo. Apesar de valores positivos de anomalia de TSM serem encontrados em alguns casos, estes não apresentam grande influência sobre o Atlântico, sendo a maioria dos casos neutros.

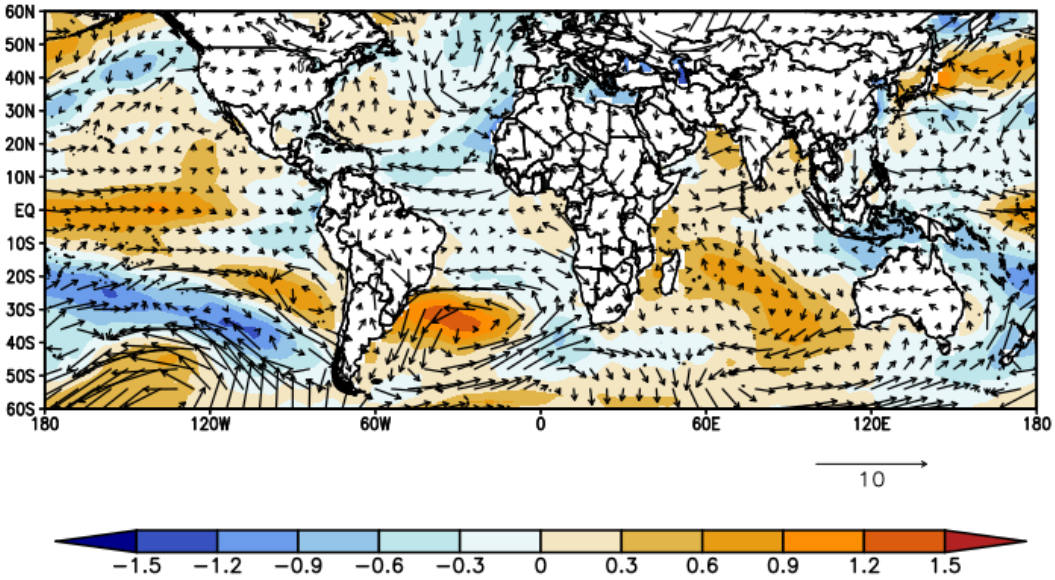

Figura 16 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP negativo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

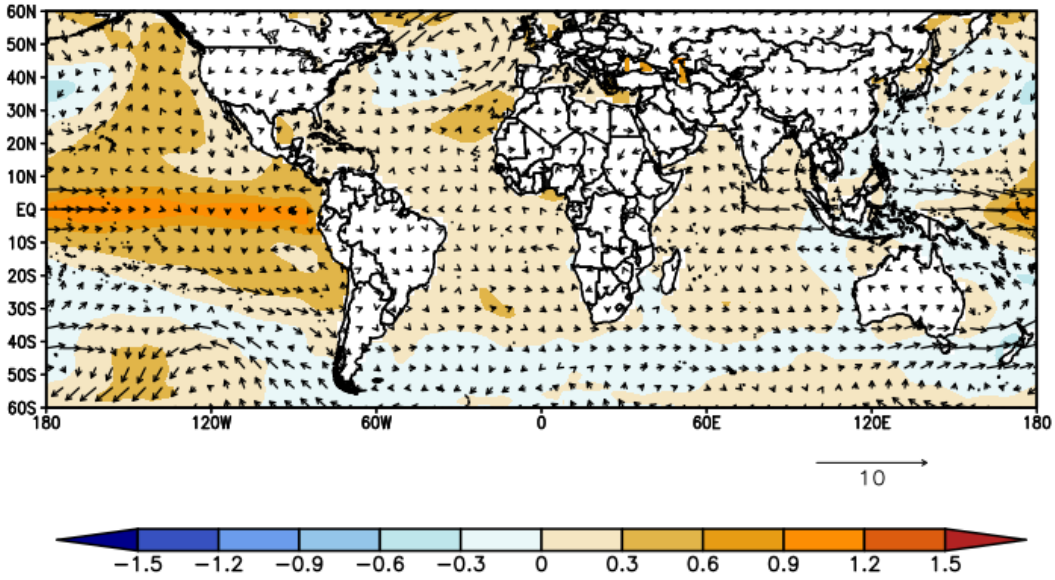

Figura 17 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

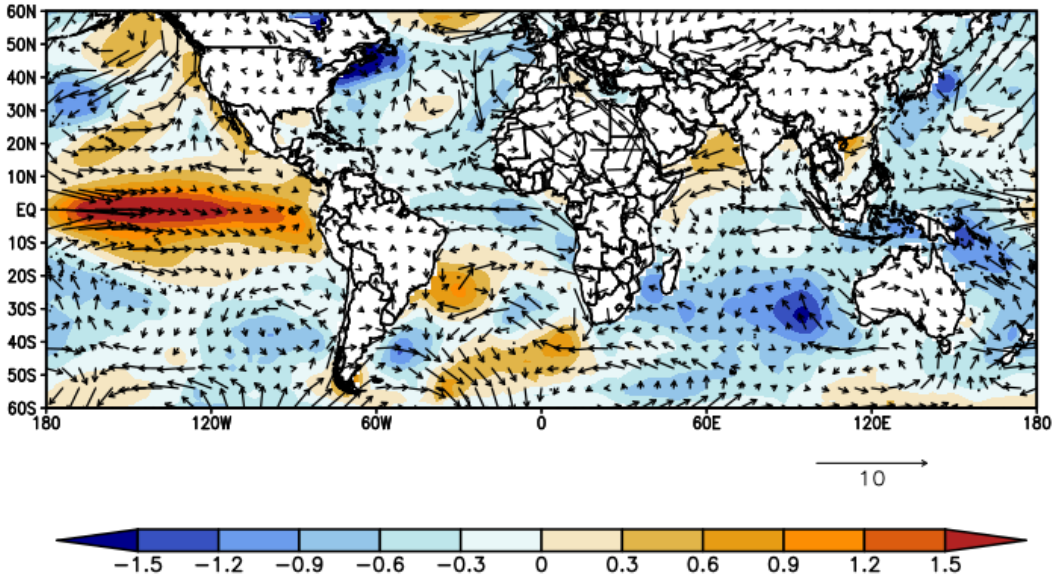

Figura 18 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

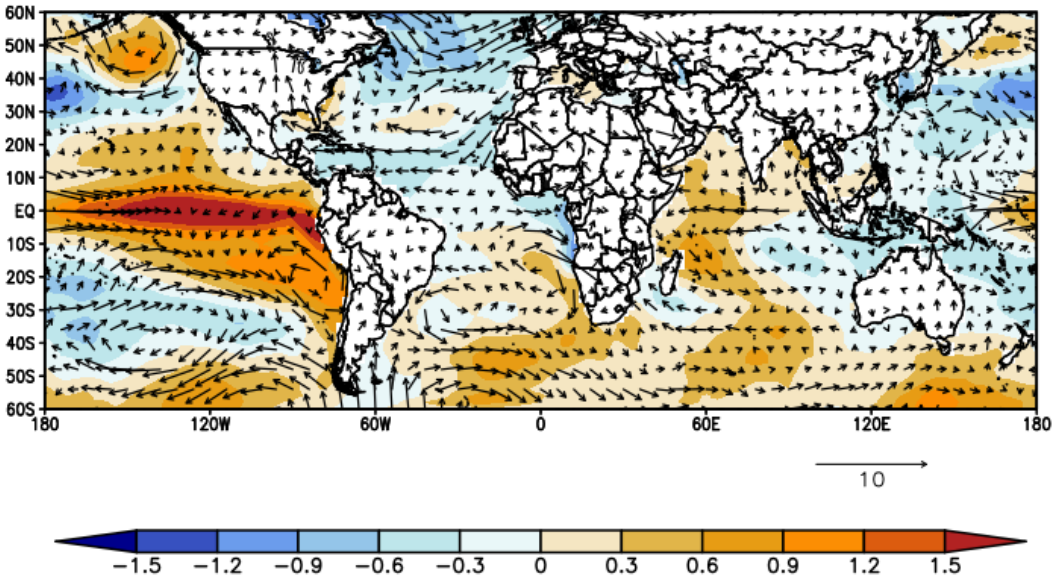

Figura 19 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo EP Neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

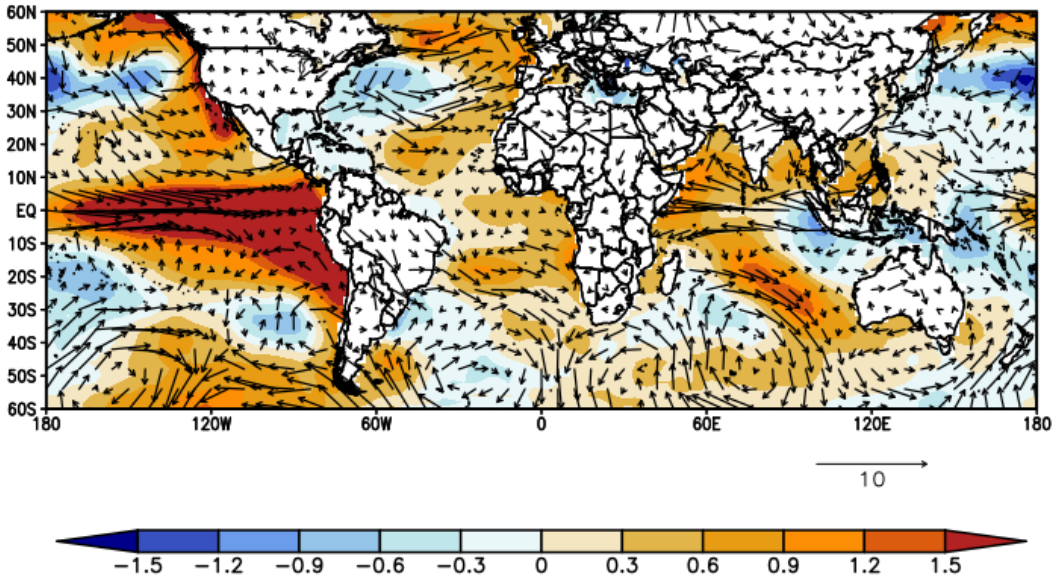

Figura 20 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo EP positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

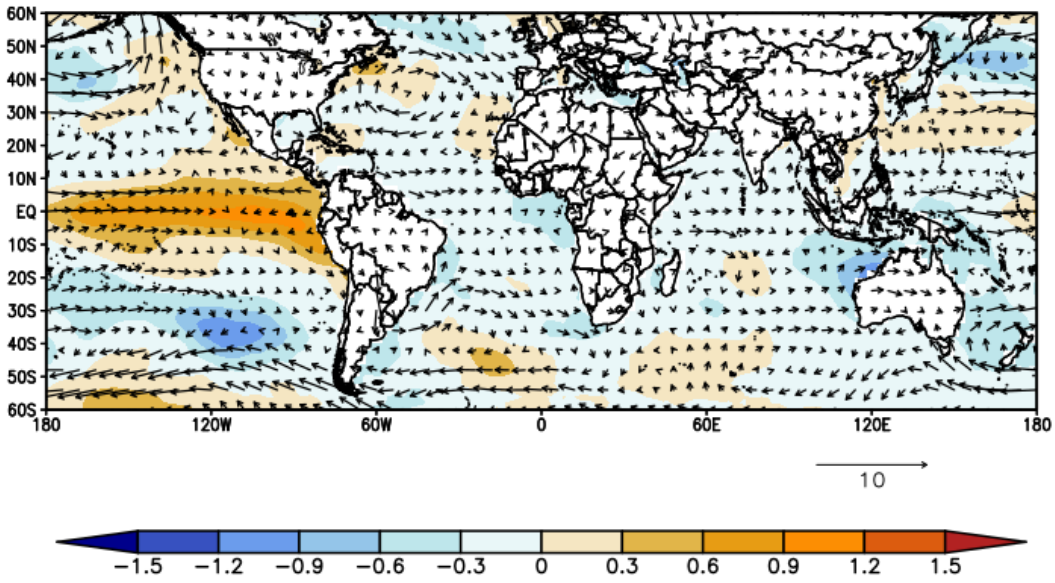

Figura 21 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo MIX neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

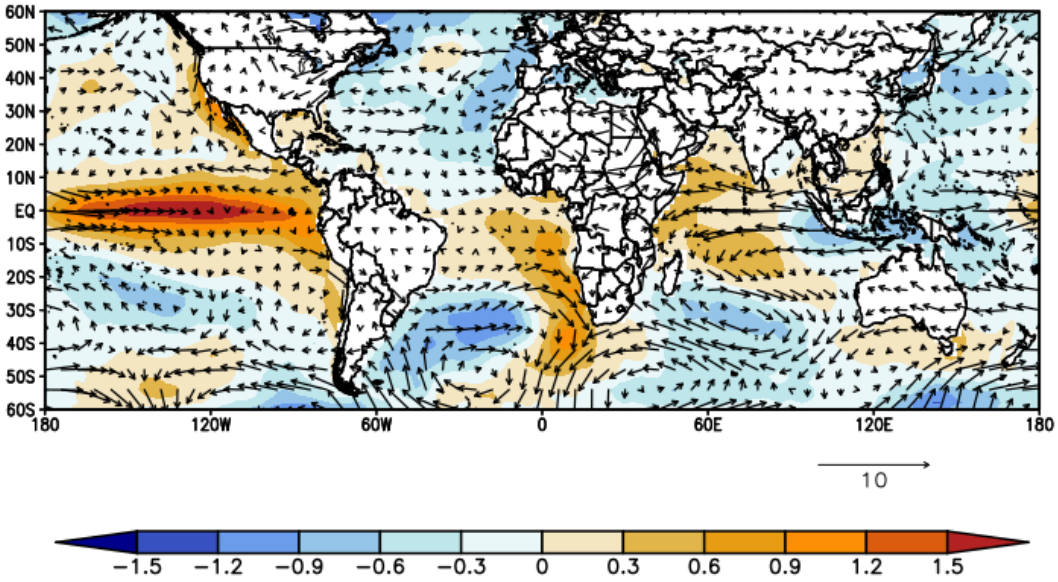

Figura 22 - Anomalia de TSM (°C; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo MIX positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

Analisado as imagens de anomalia de precipitação nota-se que em eventos classificádos como positivos o padrão de chuvas excessivo na região Sudeste mais bem caracterisado, assim como o padrão de anomalias negativas no Norte da AS (Figuras 25, 27 e 29). Nos casos classificados como neutros e negativos os valores de anomalia tendem a sere menos extremos, sendo contrarios em alguns casos (Figuras 23, 24, 26 e 28).

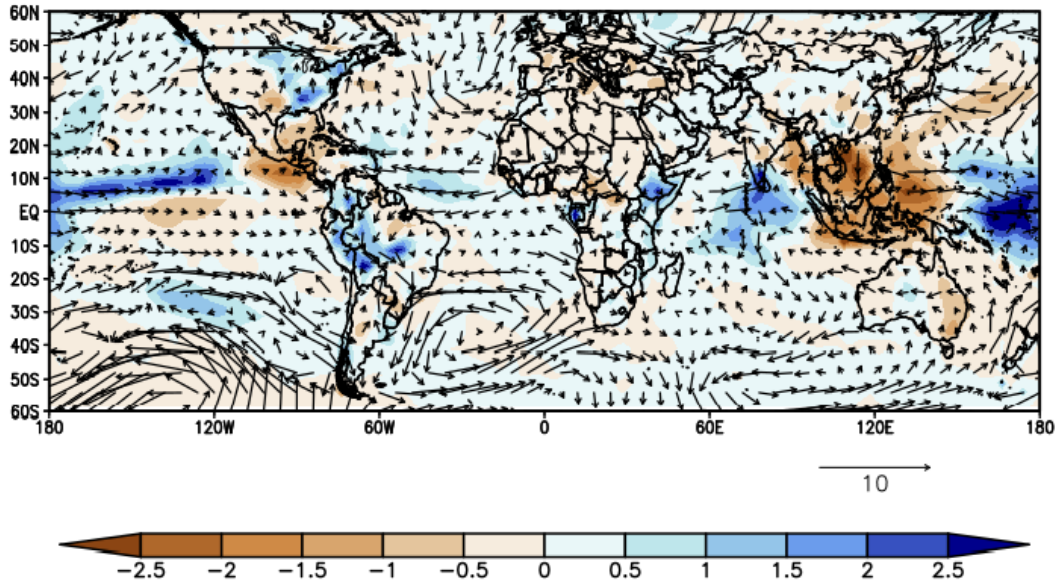

Figura 23 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP negativo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

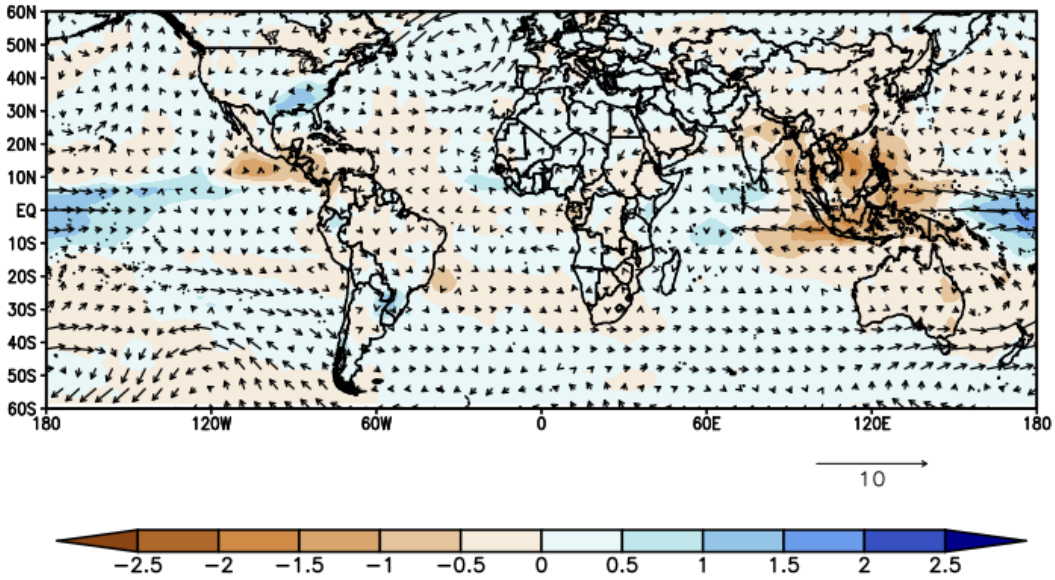

Figura 24 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

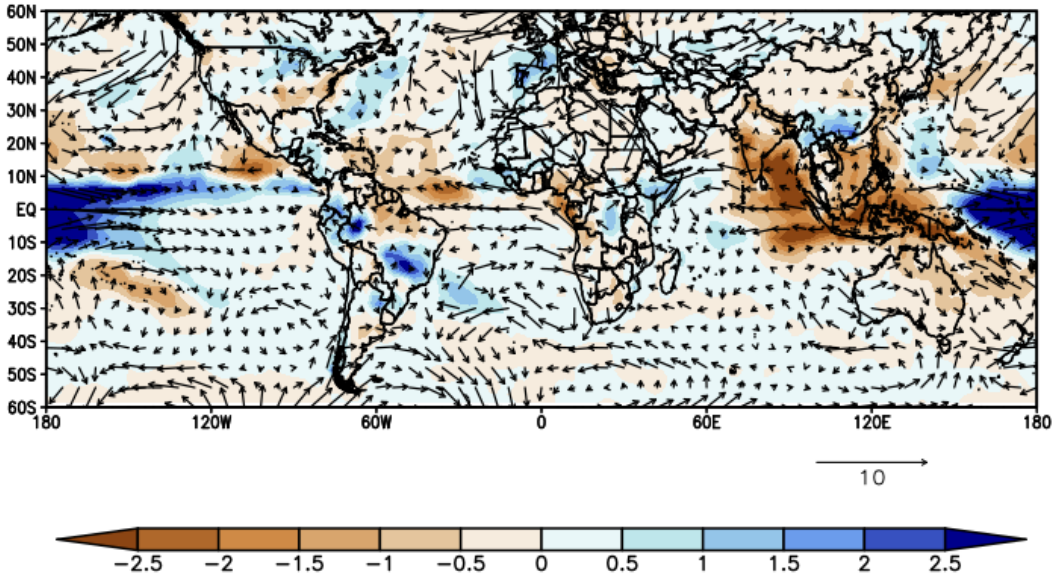

Figura 25 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo CP positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

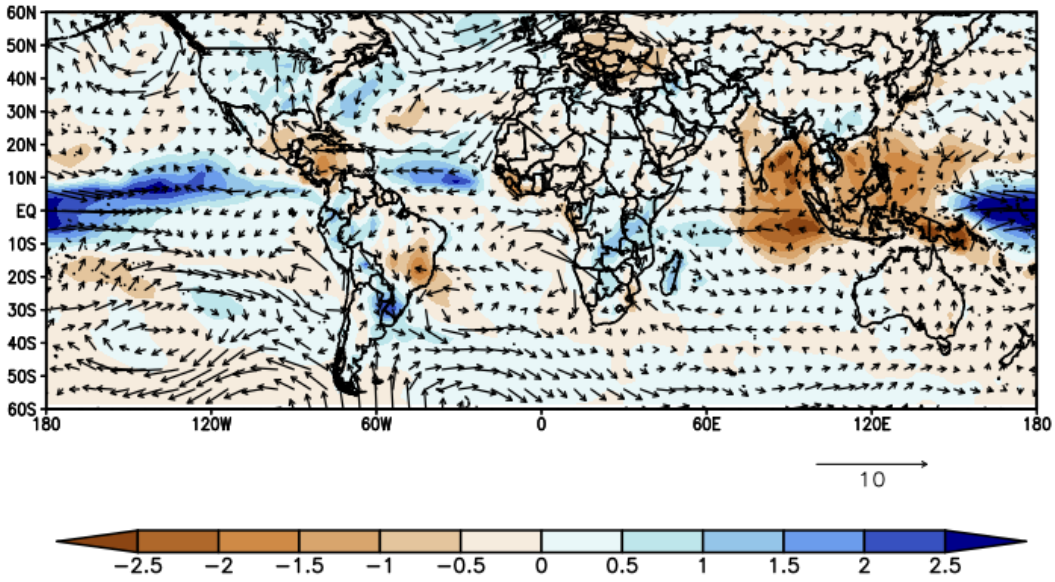

Figura 26 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo EP neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

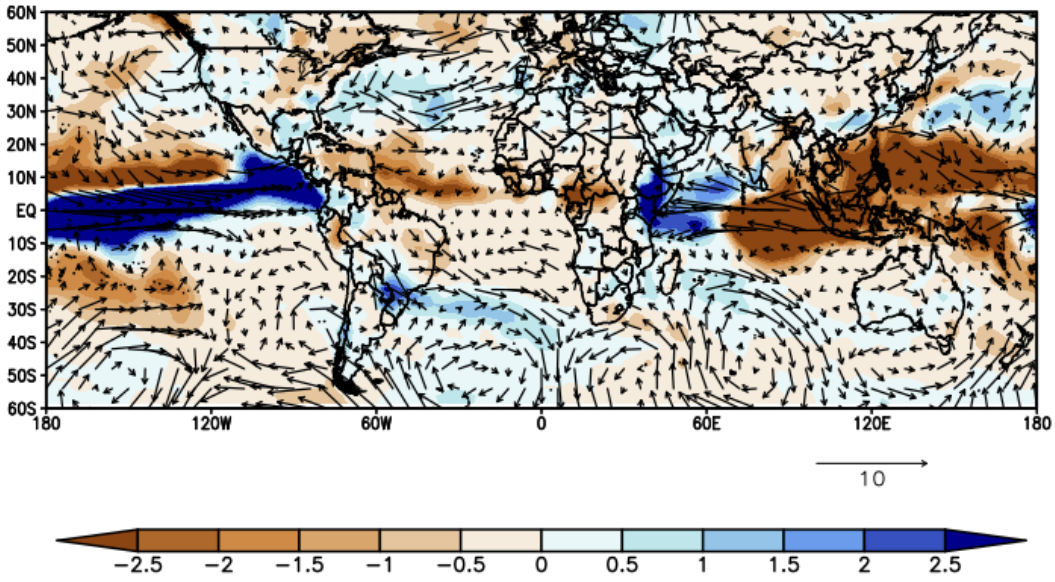

Figura 27 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo EP positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

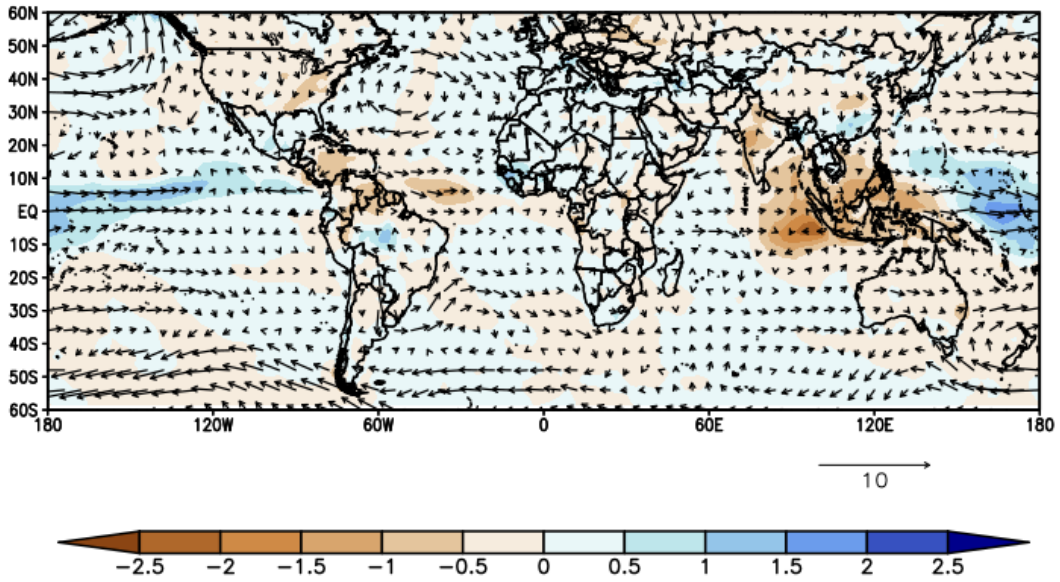

Figura 28 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo MIX neutro no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

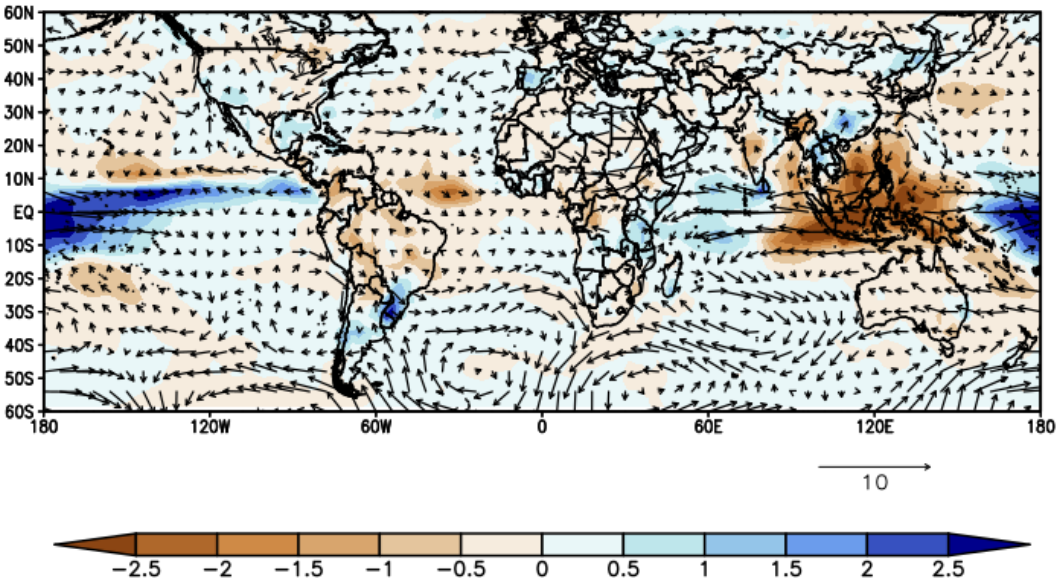

Figura 29 - Anomalia de Precipitação (mm; colorido) e do vento (vetores; intensidade em m/s) para os eventos do tipo MIX positivo no Oceano Atlântico durante os meses de primavera.

4. CONCLUSÃO

A classificação dos eventos de El Niño em 3 subtipos, sendo estes CP, EP e MIX, tem resultados compatíveis com Andreoli et. Al. (2016) durante o período de

1950 a 2010 e os resultados para os dois últimos eventos acontecidos, os classificam como sendo do tipo MIX e CP respectivamente, confirmando os resultados encontrados por Pereira et al. (2017) para o evento de 2015/2016.

Os tipos de El Niño EP e CP, assim como os estudos de taschetto e England (2009), Tedeschi et al. (2013), Kayano et al. (2016), Andreoli et al. (2016), Pereira et al. (2017), mostram suas maiores anomalias positivas de TSM, em setores leste e central do Pacífico tropical respectivamente, durante seu período de ocorrência. Já o padrão de anomalia TSM para o tipo MIX se assemelha ao do CP. Porém, com valores mais amenos, também similares aos da literatura. A anomalia de precipitação na AS tem padrões similares para os 3 tipos, com anomalias positivas de precipitação do sudeste da AS e valores negativos no norte e nordeste do continente, porém variando sua intensidade de acordo com o evento, valores mais intensos são observados no Niño EP e valores mais amenos no tipo MIX, estando principalmente ligados aos movimentos descendentes associados a um deslocamento anômalo da Circulação de Walker. Campos de altura geopotencial sugerem grandes áreas de baixa pressão anômala com centros nos dois oceanos, nas latitudes de 20°Sul a 65°Sul, sendo os valores do Niño EP os mais elevados, deslocando os JBN fazendo o padrão de altos valores de anomalia de precipitação no sudeste da AS e de valores negativo ao norte do continente. Também observasse um padrão de onda que se inicia com um centro de anomalia positiva de altura geopotêncial ao sul do Pacífico oriental formando um padrão de onda até as proximidades da AS, indicando maiores pressões, causando inibição de convecção. Os valores mais elevados de altura geopotêncial positiva nos casos de Niño MIX explicam os menores valores de anomalia de precipitação. Os perfis de ômega sobre a latitude de 7°S mostram grandes áreas de ascendência no Oceano pacífico, assim como na Amazônia e partes do Atlântico, assim como movimentos subsidentes no Nordeste brasileiro e parte do Oceano Atlântico.

Portanto, espera-se que os resultados aqui obtidos possam servir como orientação para o desenvolvimento de novos estudos e no auxílio ao monitoramento destes eventos e práticas de previsão clmática sazonal.

5. REFERÊNCIAS

Andreoli, R. V.; Oliveira, S. S.; Kayano, M. T.; Viegas, M. T.; Souza, R. A. F.; Candido, L. A. The influence of different El Niño types on the South American rainfall**. International Journal of Climatology**. 2016.

Ashok, K.; Behera S.K.; Rao, S.A. Weng HY, Yamagata T. El Niño Modoki and its possible teleconnection. **J. Geophys. Res**. 112: C11007. 2007.doi: 10.1029/2006JC003798

Brito, A.S**.** El Niño and El Niño Modoki Impacts on South American Rainfall. MSc dissertation**, The University of New South Wales, Sydney**, Australia. 2011.

Compo, G.P., J.S. Whitaker, P.D. Sardeshmukh, N. Matsui, R.J. Allan, X. Yin, B.E. Gleason, R.S. Vose, G. Rutledge, P. Bessemoulin, S. Brönnimann, M. Brunet, R.I. Crouthamel, A.N. Grant, P.Y. Groisman, P.D. Jones, M. Kruk, A.C. Kruger, G.J. Marshall, M. Maugeri, H.Y. Mok, Ø. Nordli, T.F. Ross, R.M. Trigo, X.L. Wang, S.D. Woodruff, and S.J. Worley. The Twentieth Century Reanalysis Project. **Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc**., 137, 1-28. DOI: 10.1002/qj.776, 2011

GRIMM, A. M.; AMBRIZZI, T. Teleconnections into South America from the Tropics and Extratropics on Interannual and Intraseasonal Timescales**.** In: Vimeux F, Sylvestre F, Khodri M (eds) Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions: From the Last Glacual Maximum to the Holocene. v. 14, p 159-191. 2009

Hill, K.J.; Taschetto, A.S.; England, M.H. Sensitivity of South American summer rainfall to tropical Pacific Ocean SST anomalies**. Geophys**. **Res. Lett**. 38: L01701, 2011. doi: 10.1029/2010GL045571.

LUCYRIO, V. ; REBOITA, M. S**.** ; ALBIERI, M. C. G. . Ondas de frio intensas sobre o nordeste do Estado de São Paulo entre 1961 a 2017. **Revista Brasileira de Climatologia,** v. 25, p. 571-593, 2019.

Kao, H.Y. Yu, J. Y. Contrasting eastern-Pacific and central-Pacific types of ENSO**. J. Clim**. 22: 615–632. 2009.

Kayano MT, Rao VB, Moura AD. Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during two contrasting years**. Int. J. Climatol.** 8: 477–488. 1988.

Kayano, M. T., Andreoli, R. V., SOUZA, R., Garcia, S. R., & CALHEIROS, A. El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. ***Revista Climanalise.*** *Edição Comemorativa de* v. 30, p. 7-12, 2016.

Kousky, V.E.; Kayano, M.T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector**. J. Clim.** 7: 1131–1143.1994.

Kousky, V.E.; Kayano, M.T.; Cavalcanti, I. F. A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies**. Tellus** 36A: 490–504. 1984.

Mo K.C, Nogués-Paegle J. The Pacific-South American modes and their downstream effects. Int. **J. Climatol**. 21: 1211–1229, 2001.

Pereira, H. R., Reboita, M. S., & Ambrizzi, T. Características da Atmosfera na Primavera Austral Durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 293-310, 2017.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. the Oceanic Niño Index (ONI) 2019. citation on computers documents. Disponível em: <(https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)> Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.

Rao V.B.; Hada, K**.** Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theor. Appl. Climatol**. 42: 81–90. 1990.

Reboita, M. S., & Santos, I. Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, 2015.

Ropelewski, C.F.; Halpert, M.S.Global and Regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation**. Mon. Weather Rev**. 115: 1606–1626. 1987.

Silva, G. A. M. D., & Ambrizzi, T. Episódio de jato de baixos níveis a leste do andes durante o verão austral de 97/98: um estudo observacional e numérico. Meteorologia e o Desenvolvimento Sustentável: **Anais**, 2004.

Taschetto, A.S.; England, M.H**.** El Niño Modoki impacts on Australian rainfall**. J. Clim**. 22: 3167–3174. 2009.

Tedeschi, R.G.; Cavalcanti, I. F. A.; Grimm, A. M. Influences of two types of ENSO on South American precipitation**. Int. J. Climatol**. 33: 1382–1400, doi: 10.1002/joc.3519. 2013.

Wang, C.; Weisberg, R. H. The 1997–98 El Niño evolution relative to previous El Niño events**. J. Clim**. 13: 488–501. 2000.

Yu, J.Y.; Kim, S. T. Identifying the types of major El Niño events since 1870**. Int. J. Climatol.** 33: 2105–2112, doi: 10.1002/joc.3575.2013.