

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas

Departamento de Geografia

**Padrão Climático na América do Sul nas estações  
chuvosas de 2019-2020 e 2020-2021**

**SÃO PAULO**

**2022**

**JOÃO PAULO SEBASTIÃO**

**Padrão Climático na América do Sul nas estações chuvosas de 2019/2020 e 2020/2021**

Trabalho de Graduação Individual do Departamento  
de Geografia da Universidade de São Paulo,  
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas  
(FFLCH/USP)

**Área de Concentração:** Climatologia

**Orientadora:** Profa Dra Maria Elisa Siqueira Silva

**SÃO PAULO**  
**2022**

## **ABSTRACT**

This work analyzes weather patterns in South America in the 2019-2020 and 2020-2021 rainy seasons that caused a severe drought in Brazil, lowering the levels of the Paraná basin and affecting the electricity supply in the country. Our objective is to identify and analyze the prevailing climatic conditions in the 2019-2020 and 2020-2021 rainy seasons in South America through the GPCP mean fields of precipitation anomalies, the atmospheric variables obtained by the reanalysis I by NCEP-NCAR, the sea surface temperature data, and the maps elaborated by the Physical Sciences Laboratory - National Oceanic and Atmospheric (PSL - NOAA) website. The precipitation data show negative anomalies for both periods analyzed in the larger part of South America, considering that for the better part of the year there is deficit of precipitation. The analysis of the fields of anomalies of ORL and omega in 500 hPa show positive and negative values respectively, corroborating the negative anomalies of precipitation. The analysis of anomaly maps of chain function and geopotential height in high levels indicate that the spread of Rossby waves between the Pacific Ocean and South America allowed the more frequent existence of positive anomalies giving the atmospheric conditions that inhibited the formation of nebulosity and precipitation. While the period of 2020-2021 presented more negative values of SST in the Equatorial Pacific, event known as La Niña, the 2019-2020 period presented positive SST anomalies in larger areas globally.

## RESUMO

Neste trabalho apresentamos a análise dos padrões climáticos na América do Sul nas estações chuvosas de 2019-2020 e 2020-2021 que proporcionaram uma severa seca no Brasil, acarretando baixos níveis de rios e represas na bacia do Paraná e afetando o fornecimento de energia elétrica no país. O objetivo deste estudo é identificar e analisar as condições climáticas predominantes nas estações chuvosas de 2019-2020 e de 2020-2021, na América do Sul, através dos campos médios da anomalia de precipitação do GPCP, de variáveis atmosféricas obtidas da reanálise I do NCEP-NCAR e de dados da temperatura da superfície do mar, através de mapas elaborados no site *Physical Sciences Laboratory - National Oceanic and Atmospheric* (PSL - NOAA). Os dados de precipitação mostram anomalias negativas para os dois períodos analisados em grande parte da América do Sul, sendo que a maior parte dos meses apresenta déficit de precipitação. A análise dos campos de anomalias de ROL e omega em 500 hPa mostram valores positivos e negativos, respectivamente, corroborando as anomalias negativas de precipitação. A análise dos mapas de anomalia de função de corrente e de altura geopotencial em altos níveis indica que a propagação de ondas de Rossby entre o oceano Pacífico e América do Sul permitiram a existência mais frequente de anomalias positivas, propiciando condições atmosféricas que inibiram a formação de nebulosidade e precipitação. Enquanto o período de 2020-2021 apresentou mais valores negativos de TSM no Pacífico Equatorial, caracterizando-se por evento La Niña, o período de 2019-2020 apresentou anomalias positivas de TSM em áreas mais abrangentes globalmente.

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ANA: Agência Nacional de Águas

AS: América do Sul

CP: Componentes Principais

EN: El Niño

ENOS: El Niño-Oscilação do Sul

GPCP: Global Precipitation Climatology Project

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

LN: La Niña

NCAR: National Center for Atmospheric Research

NCEP: National Center for Environmental Prediction

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

PNA: Pacific-North America

PSA: Pacific-South America

PSL-NOAA: Physical Sciences Laboratory - National Oceanic and Atmospheric Administration

ROL: Radiação de Onda Longa (ORL, em inglês)

TSM: Temperatura da Superfície do Mar

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Circulação média de Walker durante condições neutras para ENOS	p. 09
Figura 2: Anomalia média de Circulação de Walker durante eventos de El Niño	p. 09
Figura 3: Anomalia média da Circulação de Walker durante eventos de La Niña	p. 10
Figura 4: SAM, PSA1 e PSA2 da América do Sul	p. 11
Figura 5: Padrão espacial PNA (Pacific-North Atlantic)	p. 11
Figura 6: Anomalias médias para as estações chuvosas de 2019-2020 e 2020-2021	p. 18
Figura 7: Anomalias médias para os trimestres OUT-DEZ e JAN-MAR de 2019-2020	p. 20
Figura 8: Anomalias médias para os trimestres OUT-DEZ e JAN-MAR de 2020-2021	p. 23
Figura A1: Anomalias médias mensais para variável de precipitação em 2019-2020	p. 30
Figura A2: Anomalias médias mensais para variável de precipitação em 2020-2021	p. 31
Figura A3: Anomalias médias mensais para variável ROL em 2019-2020	p. 32
Figura A4: Anomalias médias mensais para variável ROL em 2020-2021	p. 33
Figura A5: Anomalias médias mensais para variável velocidade vertical em 2019-2020	p. 33
Figura A6: Anomalias médias mensais para variável velocidade vertical em 2020-2021	p. 34
Figura A7: Anomalias médias mensais de altura geopotencial em 250 mb em 2019-2020	p. 35
Figura A8: Anomalias médias mensais de altura geopotencial em 250 mb em 2020-2021	p. 36
Figura A9: Anomalias médias mensais de altura geopotencial em 850 mb em 2019-2020	p. 37
Figura A10: Anomalias médias mensais de altura geopotencial em 850 mb em 2020-2021	p. 37
Figura A11: Anomalias médias mensais de função de corrente em 2019-2020	p. 38
Figura A12: Anomalias médias mensais de função de corrente em 2020-2021	p. 39
Figura A13: Anomalias médias para as estações chuvosas em outubro de 2019	p. 40
Figura A14: Anomalias médias para as estações chuvosas em novembro de 2019	p. 41
Figura A15: Anomalias médias para as estações chuvosas em dezembro de 2019	p. 41
Figura A16: Anomalias médias para as estações chuvosas em janeiro de 2020	p. 42
Figura A17: Anomalias médias para as estações chuvosas em fevereiro de 2020	p. 43
Figura A18: Anomalias médias para as estações chuvosas em março de 2020	p. 44
Figura A19: Anomalias médias para as estações chuvosas em outubro de 2020	p. 45
Figura A20: Anomalias médias para as estações chuvosas em novembro de 2020	p. 45
Figura A21: Anomalias médias para as estações chuvosas em dezembro de 2020	p. 46
Figura A22: Anomalias médias para as estações chuvosas em janeiro de 2021	p. 47
Figura A23: Anomalias médias para as estações chuvosas em fevereiro de 2021	p. 48
Figura A24: Anomalias médias para as estações chuvosas em março de 2021	p. 49

## SUMÁRIO

Introdução.....	p. 07
Objetivo.....	p. 12
Método e dados.....	p. 12
Resultados.....	p. 16
Discussão e conclusão.....	p. 24
Referências bibliográficas.....	p. 25
Apêndice.....	p. 30

## INTRODUÇÃO

O clima global é um fator geográfico de grande influência no modo de vida na Terra e em sua organização espacial (CORRÊA, 2011), desde a distribuição global da vegetação à apropriação da superfície pelos seres humanos. Por exemplo, as atividades econômicas desenvolvidas, sejam urbanas ou agrárias, dependem, em grande parte das vezes, do clima e das condições atmosféricas presentes, afetando a vida social em múltiplos aspectos. Diversos autores já ressaltaram a importância da descrição do clima para a ciência geográfica. Vários deles apontam que o estudo dos fatores climáticos condicionantes e suas consequências no espaço geográfico precisam ser analisados de forma sistêmica e entrelaçada, para que sejam melhor entendidas as suas relações (MONTEIRO, 1971; CONTI, 1975; TARIFA, 1975; NETO, 1990).

A falta de chuva na bacia do rio Paraná, por exemplo, local que concentra importantes hidrelétricas (Jupiá, Ilha Solteira, Porto Primavera e Itaipu), foi considerada crítica pelo Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), constatando que o período entre setembro de 2020 e março de 2021 foi o que recebeu a menor quantidade de chuva nos 91 anos anteriores, o que levou a centenas de municípios à condição de seca extrema no sudeste e centro-oeste do país (BRASIL, 2021). Tal condição levou o governo federal a acionar outras fontes de energias, como as termelétricas, para suprir a demanda nacional (BRASIL, 2021) elevando, por um lado, o preço da conta de energia para a população em geral (BRASIL, 2021) e, por outro, segundo levantamento do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), produzido com exclusividade para a CNN, aumentando em 121% a emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) usado na geração de energia elétrica no Brasil, de 2020 para 2021 (SANDRI e BARRETO, 2021). O aumento da emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera contribui para o aumento da temperatura média global (VILELLA; ANTUNES; SILVEIRA, 2007).

A seca observada neste período teve como consequência adicional a grande área queimada de vegetação nas regiões centro-oeste e norte do Brasil, como divulgado por Pletsch et al. (2021), que observaram o aumento de 302 % de queimada no período, no Pantanal.

A ocorrência de eventos climáticos extremos, não é novidade para os climatologistas, porém, o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, como a severa seca ocorrida



entre os anos de 2019 e 2021 no Brasil, assim como as localizações cada vez mais incomuns, pode ser indicativo dos efeitos das mudanças climáticas provocadas pelo homem (MARENGO, 2008). Entender o comportamento dos padrões atmosféricos, especialmente em períodos de extremos climáticos (por exemplo, secas severas) é de fundamental importância para a geografia, permitindo a construção de modelos conceituais associados a tais condições físicas. A menor taxa de precipitação em uma determinada região gera fortes impactos na organização do espaço, afetando a agricultura, a navegação, o abastecimento urbano de água e energia, entre outros.

Analisar o padrão climático ocorrido na América do Sul entre 2019 e 2021, que provocou um grande déficit de precipitação no Brasil, se mostra de grande importância pois contribui para a compreensão do comportamento atmosférico associado. Diversos autores têm estudado a variabilidade climática sobre a América do Sul (MARENGO, 2008; GRIMM, 2003; REBOITA, 2010). Os resultados destes estudos nos ajudam a compreender melhor as forçantes associadas às alterações climáticas, incluindo as mudanças climáticas. A variabilidade climática resulta tanto das forçantes naturais (internas) como das mudanças climáticas globais (externas). A observação recorrente de extremos climáticos, como a ocorrência de secas mais intensas e mais frequentes, respondem à atuação conjunta da variabilidade natural do clima associada às mudanças causadas pelo homem (BARRY e CHORLEY, 2009).

Parte da variabilidade natural do clima observado na América do Sul pode ser explicada por fenômenos que ocorrem no oceanos Pacífico e Atlântico. A seguir, expomos algumas das características mais importantes da variabilidade interanual do Pacífico, o ENOS.

As Figuras 1-3 mostram de forma esquemática a circulação de Walker característica em condições neutras no Pacífico Equatorial (Fig. 1), nas condições de El Niño (EN) (Fig. 2) e nas condições de La Niña (LN) (Fig. 3). O clima da América do Sul é determinado, em grande parte, pelas condições físicas dos oceanos Pacífico e Atlântico. Quando há ocorrência de eventos de El Niño (EN) no Pacífico equatorial, tal como ilustrado na Figura 2, as anomalias de movimento vertical descendente sobre o centro-norte da América do Sul ficam, em média, intensificadas (ROPELEWSKI et al., 1987). Isso acontece porque há o deslocamento zonal da célula de Walker (Fig. 1) fazendo com que seu ramo descendente fique posicionado sobre a América do Sul (GRIMM, 2003; NOAA, 2022). Por outro lado,

quando há ocorrência de eventos La Niña (LN), o movimento ascendente sobre o centro-norte da América do Sul fica intensificado (Fig. 3).

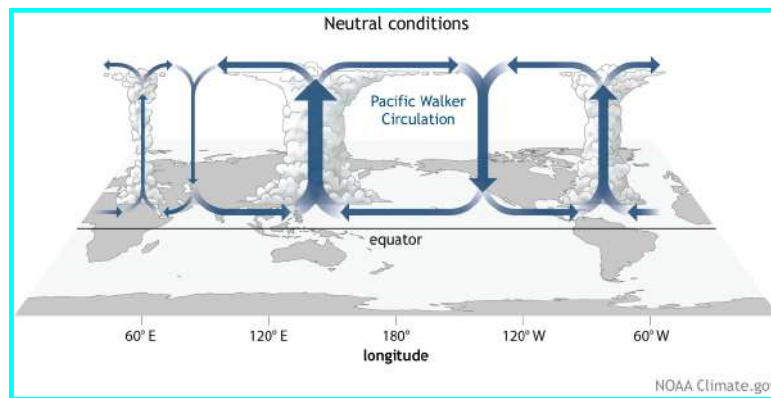


Figura 1: Circulação média de Walker (dezembro-fevereiro) durante condições neutras para ENOS. A convecção associada aos ramos ascendentes da Circulação de Walker é encontrada no continente marítimo, norte da América do Sul e leste da África. Desenho NOAA Climate.gov por Fiona Martin. Fonte: NOAA (2022)

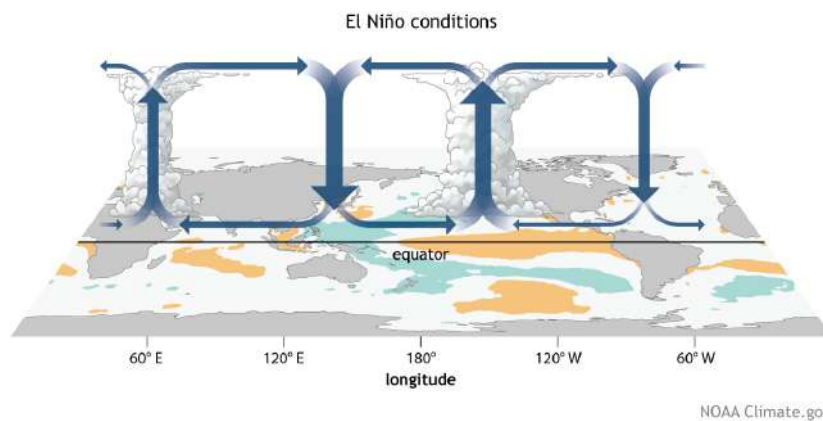


Figura 2: Anomalia média de Circulação de Walker (dezembro-fevereiro) durante eventos de El Niño sobreposta ao mapa de anomalias de temperatura média da superfície do mar. O aquecimento anômalo dos oceanos no Pacífico central e oriental (laranja) ajuda a formar um ramo ascendente da Circulação de Walker a leste de 180°, enquanto que os ramos com movimentos subsidentes ficam mais posicionados sobre o continente marítimo e norte da América do Sul. Desenho NOAA Climate.gov por Fiona Martin. Fonte: NOAA (2022)

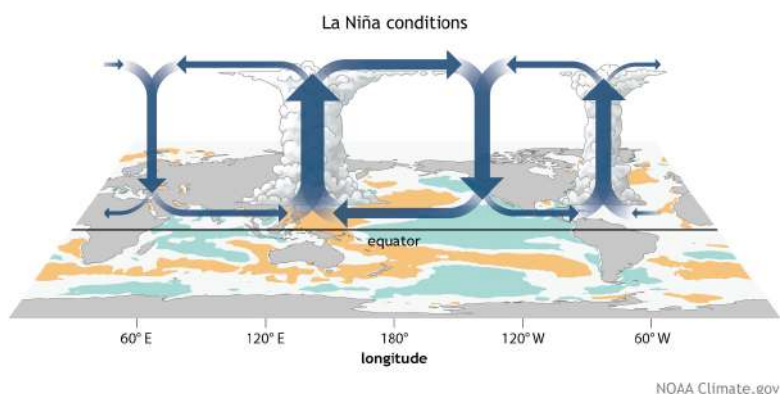


Figura 3: Anomalia média da Circulação de Walker (dezembro-fevereiro) durante eventos de La Niña sobreposta ao mapa de anomalias de temperatura média da superfície do mar. O resfriamento anômalo do oceano (azul esverdeado) no centro e leste do Oceano Pacífico e o aquecimento no oeste do Oceano Pacífico permitem a intensificação do ramo ascendente da circulação de Walker sobre o continente marítimo e do ramo de ar subsidente sobre o leste do Oceano Pacífico. Movimento ascendente intensificado também é observado no norte da América do Sul, enquanto o movimento anômalo subsidente fica posicionado sobre o leste da África. Desenho NOAA Climate.gov por Fiona Martin. Fonte: NOAA (2022)

Além da associação direta entre eventos El Niño-Oscilação do Sul (ENOS) e o clima na América do Sul através da intensificação e enfraquecimento da célula zonal de Walker, anomalias positivas e negativas da temperatura da superfície do mar nos oceanos Pacífico e Índico estão associadas à propagação de ondas de grande escala (ondas de Rossby<sup>1</sup>) nas direções extratropicais, nos hemisférios sul e norte. De acordo com McPhaden (2002), Philander (1990) e Trenberth (1997), anomalias de temperatura da superfície do mar no Pacífico equatorial estão associadas a propagações distintas de ondas de Rossby (Fig. 4 e 5) desde o Pacífico até a América do Sul e também em direção à América do Norte, que são os chamados padrões Pacific-South America (PSA1 e PSA2) e Pacific-North America (PNA), respectivamente (MO e GHIL, 1987; SZEREDI e KAROLY, 1987). Os padrões PSA contribuem para determinar a intensidade das anomalias ciclônicas e anticiclônicas na América do Sul (AMBRIZZI, 2003).

<sup>1</sup> As ondas de Rossby são um tipo de onda inercial que ocorre naturalmente em fluidos em rotação. Elas foram identificadas pela primeira vez por Carl-Gustaf Arvid Rossby. São observadas na atmosfera e nos oceanos devido à rotação do planeta. As ondas atmosféricas de Rossby na Terra são meandros gigantes na circulação de altos níveis e têm uma grande influência no clima. Essas ondas estão associadas a sistemas de pressão e a correntes de jato. Ondas de Rossby oceânicas se movem ao longo da termoclina: a fronteira entre a camada superior quente e a parte mais profunda fria do oceano. Fonte: US Departamento de Comércio, Administração Oceânica Nacional e Atmosférica. "O que é uma onda de Rossby?" [oceanservice.noaa.gov](https://oceanservice.noaa.gov). Página visitada em 17 de fevereiro de 2022,

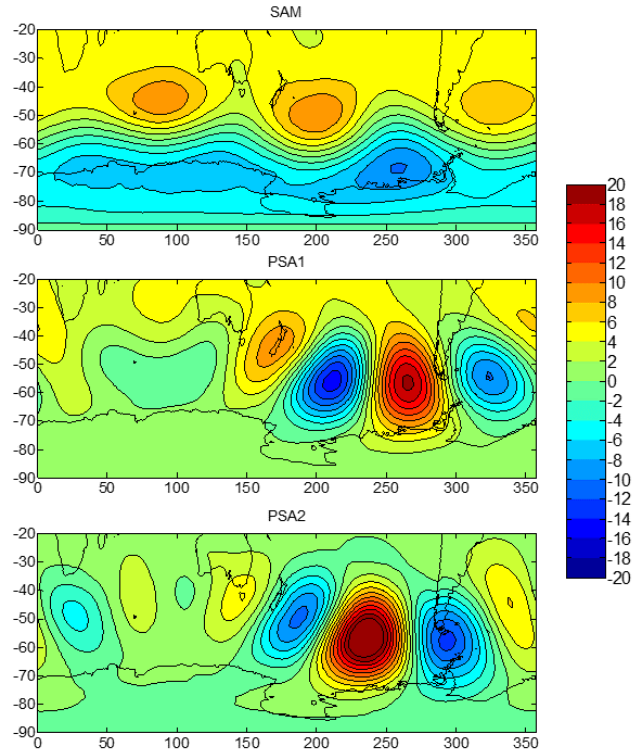


Figura 4: Fase positiva do Modo Anular Sul, Southern Antarctic Mode (SAM), PSA1 e PSA2. O Pacific-South America é caracterizado por um trem de ondas que vai do Pacífico até o Atlântico. Quando a análise de Funções Ortogonais Empíricas (*Empirical Orthogonal Function*, EOF, análise estatística multivariada (Wilks, 2011), é aplicada à altura geopotencial, o primeiro modo caracteriza a variabilidade associada à SAM enquanto que o segundo e o terceiro modos correspondem aos padrões PSA1 e PSA2 (Mo e Higgins, 1998; Kidson, 1999; Mo, 2000). Tanto o PSA1 quanto o PSA2 estão associados à propagação de ondas de Rossby e apresentam impactos na pressão atmosférica, principalmente ao sul de 20 °S, na América do Sul, favorecendo ou desfavorecendo a precipitação. Fonte: Souza e Reboita (2021)

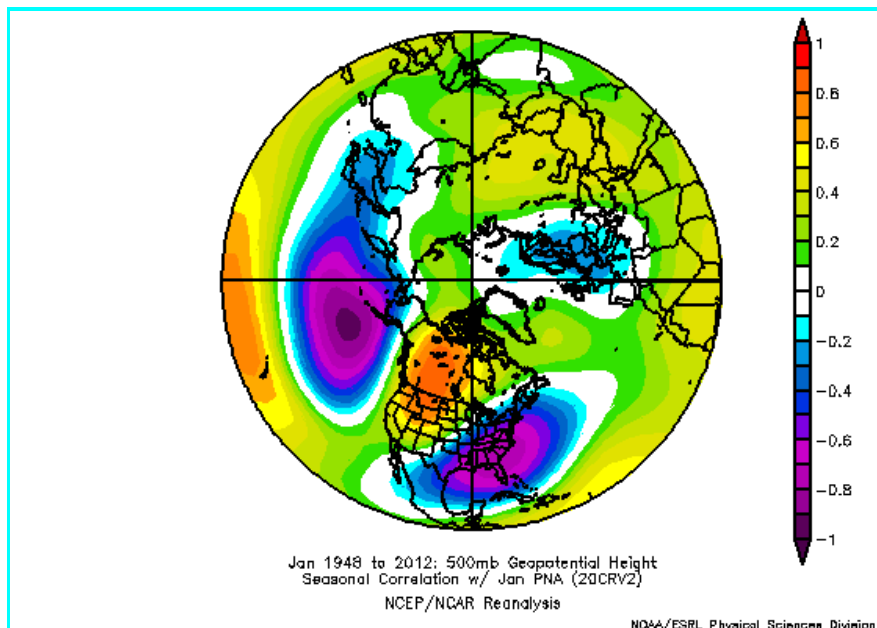


Figura 5: Padrão espacial PNA (Pacific-North Atlantic). Correlação linear entre dados mensais de altura geopotencial em 500 hPa (20CRV2) e o índice PNA, de janeiro de 1948 a dezembro de 2012. O índice PNA pode ser calculado como  $Z^*(15^{\circ}\text{N}-25^{\circ}\text{N},180-140^{\circ}\text{W})-Z^*(40^{\circ}\text{N}-50^{\circ}\text{N},180-140^{\circ}\text{W})+Z^*(45^{\circ}\text{N}-60^{\circ}\text{N},125^{\circ}\text{W}-105^{\circ}\text{W})-Z^*(25^{\circ}\text{N}-35^{\circ}\text{N},90^{\circ}\text{W}-70^{\circ}\text{W})$ , sendo Z a altura geopotencial nas posições indicadas. Fonte: [https://psl.noaa.gov/data/20thC\\_Rean/timeseries/monthly/PNA/](https://psl.noaa.gov/data/20thC_Rean/timeseries/monthly/PNA/)

A partir de estudos climáticos podemos obter informações importantes sobre os padrões atmosféricos responsáveis pela ocorrência de períodos secos e úmidos no globo, que, em última análise irão alterar as condições de tempo e clima em superfície, como as características da precipitação e da temperatura do ar.

Sabendo que padrões atmosféricos, parcialmente determinados pelas condições oceânicas, contribuem para a determinação do clima na América do Sul, pretende-se neste estudo identificar os padrões ocorridos nas estações chuvosas de 2019 e 2020, quando o continente sulamericano passou por uma seca severa.

## **OBJETIVO**

O objetivo deste estudo é identificar e analisar as condições climáticas atmosféricas nas estações chuvosas de 2019-2020 e de 2020-2021, na América do Sul, através dos campos médios de anomalias de variáveis atmosféricas e da temperatura da superfície do mar.

## **MÉTODO E DADOS**

Este trabalho apresenta a análise de variáveis atmosféricas e de superfície para o domínio da América do Sul e Pacífico Sul, nas estações chuvosas de 2019-2020 e 2020-2021. As variáveis consideradas são: precipitação do GPCP, temperatura da superfície do mar, velocidade vertical do ar (omega) em 500 hPa, radiação de onda longa (ROL), altura geopotencial (inserir níveis), temperatura da superfície do mar (TSM) e função de corrente (inserir níveis). A análise é desenvolvida com base nas anomalias (desvio da média) calculadas em relação ao período climatológico de 1981 a 2010. A análise é feita para as

escalas semestral (outubro-março) e trimestral (outubro-dezembro e janeiro-março) para os dois períodos chuvosos. Os mapas de anomalia mensal são mostrados no Apêndice.

O site do *Physical Sciences Laboratory - National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2020) permite a elaboração de mapas médios de diversas variáveis atmosféricas e de superfície, assim como das respectivas anomalias relativas a um período determinado. As variáveis atmosféricas podem ser obtidas de várias fontes. Neste estudo usamos as variáveis atmosféricas da Reanálise I do NCEP-NCAR<sup>2</sup> (KALNAY et al., 1996) e a precipitação do Global Precipitation Climatology Project (GPCP) (PENDERGRASS; WANG, 2020). A TSM considerada neste estudo foi a NOAA SST OI (Reynolds et al., 2002), também obtida do site do NOAA.

Todos os mapas analisados foram construídos com base no cálculo da anomalia de cada uma das variáveis consideradas em relação ao período de 1981 a 2010.

Dada uma série temporal  $\{X_1, X_2, X_3, \dots, X_N\}$ , a anomalia da variável para qualquer um dos tempos existentes,  $X_i$ , pode ser escrita como:

$$X_{anom} = X_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})$$

em que:

$X_{anom}$ : anomalia da variável  $X_i$

$X_i$ : variável  $X_i$  para um determinado tempo

N: número total de dados na série temporal

$\bar{X}$ : média da variável para todos os tempos da série temporal

---

<sup>2</sup> O NCEP e o NCAR cooperam em um projeto (denominado “Reanálise”) para produzir um registro de mais de 40 anos de análises globais de campos atmosféricos em apoio às necessidades das comunidades de pesquisa e monitoramento climático. Esse esforço envolve a recuperação de dados de superfície terrestre, navios, aeronaves, satélites e outros, o controle de qualidade e assimilação desses dados com um sistema que é mantido inalterado durante o período de reanálise 1957-1996. Isso elimina os saltos climáticos percebidos associados a mudanças no sistema de assimilação de dados. Fonte: <https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/getpage.pl>

Os dados de precipitação mensal usados neste estudo são os gerados pelo GPCP, em mm/dia, para as estações chuvosas de 2019-2020 e 2020-2021, considerando-se os meses de outubro a março. A compilação dos dados de precipitação do GPCP baseia-se na consideração conjunta de várias estimativas para produzir campos de precipitação global. "O GPCP fornece uma análise consistente da precipitação global a partir de uma integração de vários conjuntos de dados de satélite sobre o continente e oceano. Dados de estações pluviométricas, satélites e observações de sondagem são combinados para estimar a precipitação mensal em uma grade espacial global de 2,5 graus, de 1979 até o presente" (NOAA, 2022) (Adler et al., 2003).

A velocidade vertical do ar é representada pela variável omega que constitui a variação de pressão atmosférica em um intervalo de tempo; sua unidade de representação é Pa/s. É uma variável oriunda da Reanálise I do NCEP-NCAR. Foi escolhido o nível de 500 hPa/s de forma a representar a convecção profunda do ar.

A radiação de onda longa (ROL) é uma variável obtida por sensores acoplados a satélites ambientais e é proporcional à temperatura do corpo que a emite (de acordo com a Lei de Stephan-Boltzmann,  $ROL = \epsilon \sigma T^4$  onde  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann, que tem o valor de  $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ , e  $\epsilon$  é a emissividade da superfície que emite a radiação). A unidade de ROL é  $\text{W/m}^2$ . A radiação obtida pelo satélite pode ser originada da superfície e do topo de nuvens, sendo proporcional à temperatura desses corpos. Em áreas tropicais onde há convecção, o valor de ROL é geralmente menor devido à altitude do topo das nuvens convectivas. "Como nos trópicos os gradientes horizontais de temperatura são geralmente pequenos, a ROL é primariamente função da distribuição da cobertura de nuvens"<sup>3</sup> (Climanálise, 2014).

A função de corrente para um determinado nível da atmosfera é calculada a partir das componentes meridional e zonal do vento, sendo possível identificar o sentido de rotação do escoamento do ar a partir desta variável. A função de corrente é obtida para o nível sigma 0,201 (a coordenada vertical sigma considera a distorção da atmosfera pela presença da topografia e é geralmente usada em modelagem numérica, como na Reanálise I do NCEP-NCAR (NOAA, 2022). Nos mapas de função de corrente, as áreas com valores positivos (negativos) indicam giro do ar no sentido anticiclônico e ciclônico, no hemisfério

---

<sup>3</sup> Fonte: Boletim Climanalise, volume 29, no 12, CPTEC, dezembro de 2014 ([http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/notas\\_0308.shtml](http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/notas_0308.shtml))

sul. Assim, para os valores da anomalia da função de corrente, o sinal positivo (negativo) indica o fortalecimento (enfraquecimento) da rotação anticiclônica ou enfraquecimento (fortalecimento) da rotação ciclônica. A unidade da função de corrente é  $m^2/s$ .

A altura geopotencial é aproximadamente definida como a altura de uma superfície de pressão na atmosfera acima do nível médio do mar, considerando a temperatura média da camada subjacente<sup>4</sup>. Como o ar quente é menos denso que o ar frio, a altura geopotencial em áreas quentes é maior do que a altura geopotencial em áreas menos aquecidas<sup>5</sup>. São analisados os níveis de 250 e 850 hPa de forma a permitir a contribuição dos níveis baixos e altos da atmosfera.

Em 250 hPa, as menores altitudes de superfícies de mesma pressão são observadas nas regiões de latitudes altas (8-10 km) e, as maiores altitudes (11-12 km), nas regiões tropicais. A altura geopotencial em 850 hPa varia, de acordo com a faixa latitudinal do globo. Observa-se que, em média, a região Antártica apresenta menores valores do que a região Ártica, isso acontece pois a atmosfera Antártica apresenta temperaturas mais baixas. As regiões subtropicais, próximo a 30 graus de latitude norte e sul, apresentam valores máximos da altura geopotencial superiores a 1550 mgp. Estas áreas constituem as altas pressões subtropicais e apresentam pouca nebulosidade e, por consequência, maior aquecimento devido à maior incidência de radiação solar<sup>6</sup>.

Os fenômenos acoplados entre oceano e atmosfera como El Niño-Oscilação Sul (ENOS) são caracterizados por anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico Equatorial. Os dados NOAA OI SST (Reynolds et al., 2002) foram usados para a análise da superfície dos oceanos.

---

<sup>4</sup> Fonte: GES DISC, NASA, Glossary (<https://disc.gsfc.nasa.gov/information/glossary?title=Giovanni%20Measurement%20Definitions:%20Geopotential%20Height>)

<sup>5</sup> Fonte: Laboratório de climatologia e biogeografia, Dep. Geografia, USP (<https://lcb.fflch.usp.br/altura-geopotencial>).

<sup>6</sup> Fonte: Laboratório de climatologia e biogeografia, Dep. Geografia, USP (<https://lcb.fflch.usp.br/altura-geopotencial>).



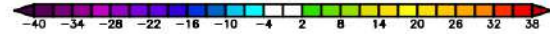
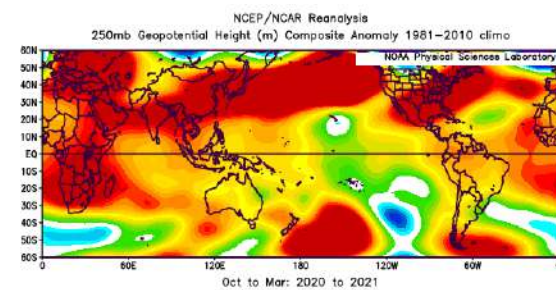
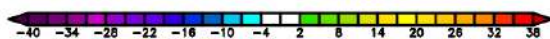
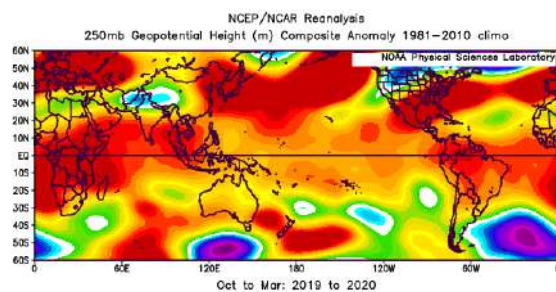
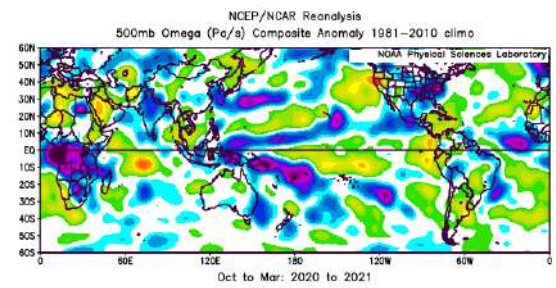
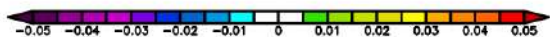
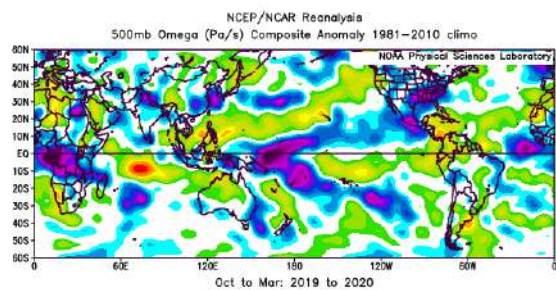
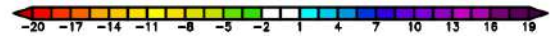
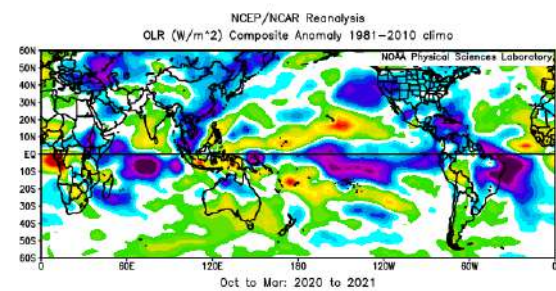
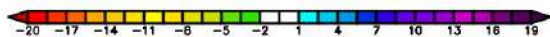
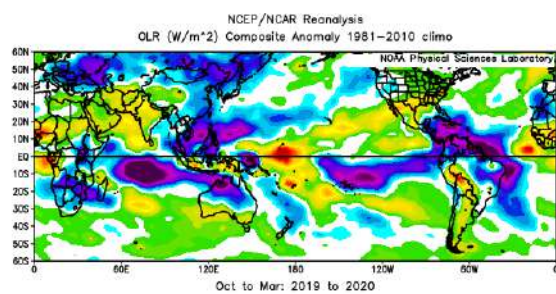
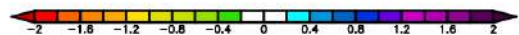
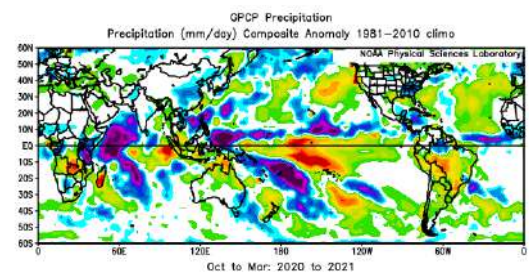
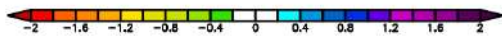
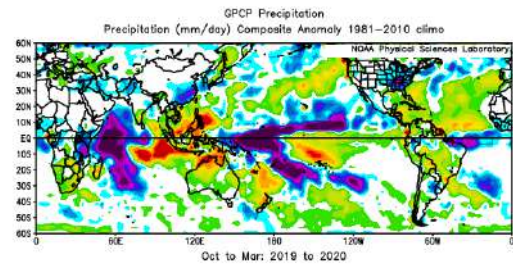
## RESULTADOS

Os resultados são apresentados na escala semestral e trimestral (de outubro de 2019 a março de 2020, e de outubro de 2020 a março de 2021) para as variáveis precipitação, ROL, omega, altura geopotencial, função de corrente e temperatura da superfície do mar. Mapas com as anomalias médias mensais que foram usados na análise encontram-se no *Apêndice*.

### **Análise Semestral para as estações chuvosas 2019-2020 e 2020-2021**

Percebemos pelo mapa de precipitação média para os períodos chuvosos de 2019-2020 e 2020-2021 a predominância do déficit de precipitação em grande parte da América do Sul (Fig. 6a,b). As anomalias negativas de precipitação são maiores no período chuvoso de 2020-2021, chegando a um déficit médio de 30-40 mm/mês, se comparadas ao déficit do período chuvoso anterior. Os mapas médios de anomalia de ROL para os dois períodos chuvosos analisados (Fig. 6c,d) corroboram o déficit de precipitação, principalmente nas regiões central e nordeste da América do Sul, indicando valores positivos, ou seja, menor formação de nebulosidade e chuva.

Os mapas da anomalia de velocidade vertical (Omega) média em 500 hPa indicam menor intensidade do movimento vertical ascendente no centro-sul do continente sulamericano, em relação à média climatológica, para as duas estações chuvosas analisadas (Fig. 6e,f). O movimento ascendente em 500 hPa fica intensificado apenas no extremo norte da América do Sul (Fig. 6e,f), para as duas estações chuvosas, concordando com o maior volume de precipitação nesta área (Fig 6a,b). A análise da anomalia da altura geopotencial em 250 hPa permite verificar que, em média, houve a elevação deste nível de pressão, e, portanto, a expansão de toda a camada da troposfera subjacente (Fig. 6g,h). A expansão da troposfera esteve associada às anomalias positivas de TSM observadas em grande parte dos oceanos, principalmente no oceano Pacífico (Fig. 6i,j). Os mapas de TSM para os anos anteriores (mapas não mostrados) indicam que o aquecimento do Pacífico ocorreu desde 2015, ano de ocorrência do intenso evento de El Niño, quando foram observadas anomalias de TSM de mais de 3,0 oC entre outubro de 2015 e fevereiro de 2016, no Pacífico equatorial. Os mapas de anomalia média da função de corrente (Fig. 6k,l) mostram valores positivos sobre grande parte da América do Sul, indicando a ocorrência mais frequente ou valores mais intensos de anomalias anticiclônicas, o que não propiciou a formação de nebulosidade e chuva na região.



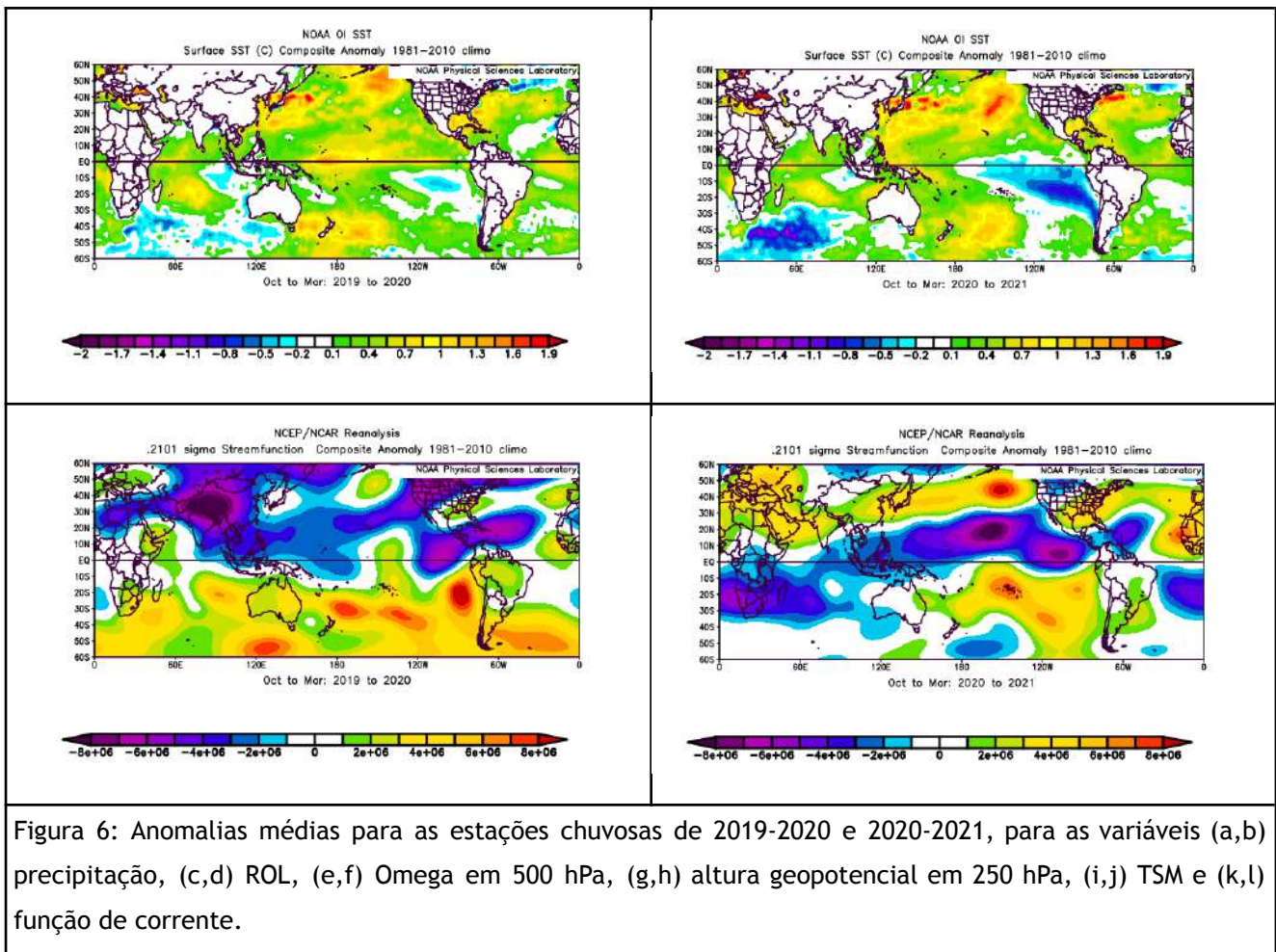


Figura 6: Anomalias médias para as estações chuvosas de 2019-2020 e 2020-2021, para as variáveis (a,b) precipitação, (c,d) ROL, (e,f) Omega em 500 hPa, (g,h) altura geopotencial em 250 hPa, (i,j) TSM e (k,l) função de corrente.

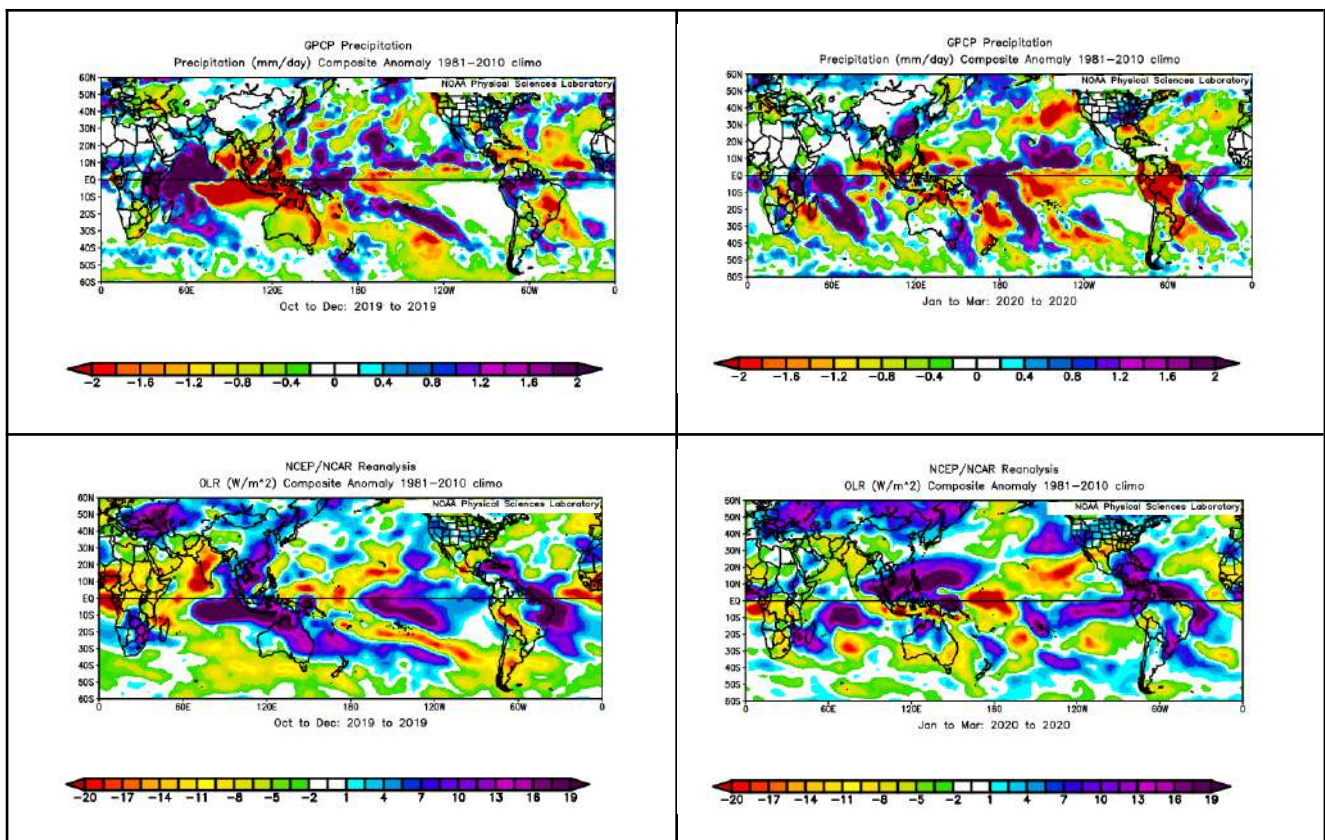
### Análise Trimestral para a estação chuvosa 2019-2020

No primeiro trimestre da estação chuvosa de 2019-2020 (outubro a dezembro), a anomalia negativa de chuva fica mais evidente sobre a América do Sul (Fig. 7a). Por outro lado, pode-se ver que há uma anomalia positiva pequena sobre o Uruguai e Rio Grande do Sul. Nos últimos três meses desta estação chuvosa (janeiro a março), o padrão de anomalia se inverte e mostra anomalias negativas ao sul e anomalias positivas de chuva a nordeste (Fig. 7b). A oscilação entre valores negativos e positivos de precipitação na direção sudoeste-nordeste está associada a oscilações de menor escala temporal, por exemplo, oscilações intrassazonais. As anomalias de ROL e de omega em 500 hPa (Fig. 7c-f) contribuíram para o padrão de anomalia de precipitação nos dois trimestres desta estação chuvosa, o que é mais facilmente detectável entre as regiões centro-sudeste e nordeste da América do Sul. Apesar de os padrões de função de corrente em altos níveis mostrarem anomalias médias positivas nos dois trimestres da estação chuvosa de 2019-2020 sobre



grande parte da América do Sul, no primeiro trimestre, apresentam valores negativos sobre o sudeste da América do Sul, contribuindo para anomalias positivas de chuva nesta área, enquanto que, no segundo trimestre, os valores positivos de anomalias de função de corrente em altos níveis ficam mais intensos e abrangem áreas mais extensas. Sobre o Atlântico Sul, atingindo a região sudeste da América do Sul, observamos a presença de valores positivos intensos da anomalia da função de corrente em altos e baixos níveis (figura não mostrada) contribuindo para anomalias negativas de chuva no sudeste da América do Sul.

Os mapas mensais de anomalias de função de corrente em altos níveis, apresentados no Apêndice, mostram que todos os meses da estação chuvosa de 2019-2020, apresentam predominantemente anomalias positivas, contribuindo para o valor médio semestral de anomalia negativa de precipitação. Os meses de outubro e novembro de 2019 apresentam valores negativos de função de corrente no sudeste da América do Sul, sobre o Uruguai e sul do Brasil, que estiveram associadas a anomalias positivas de chuva.



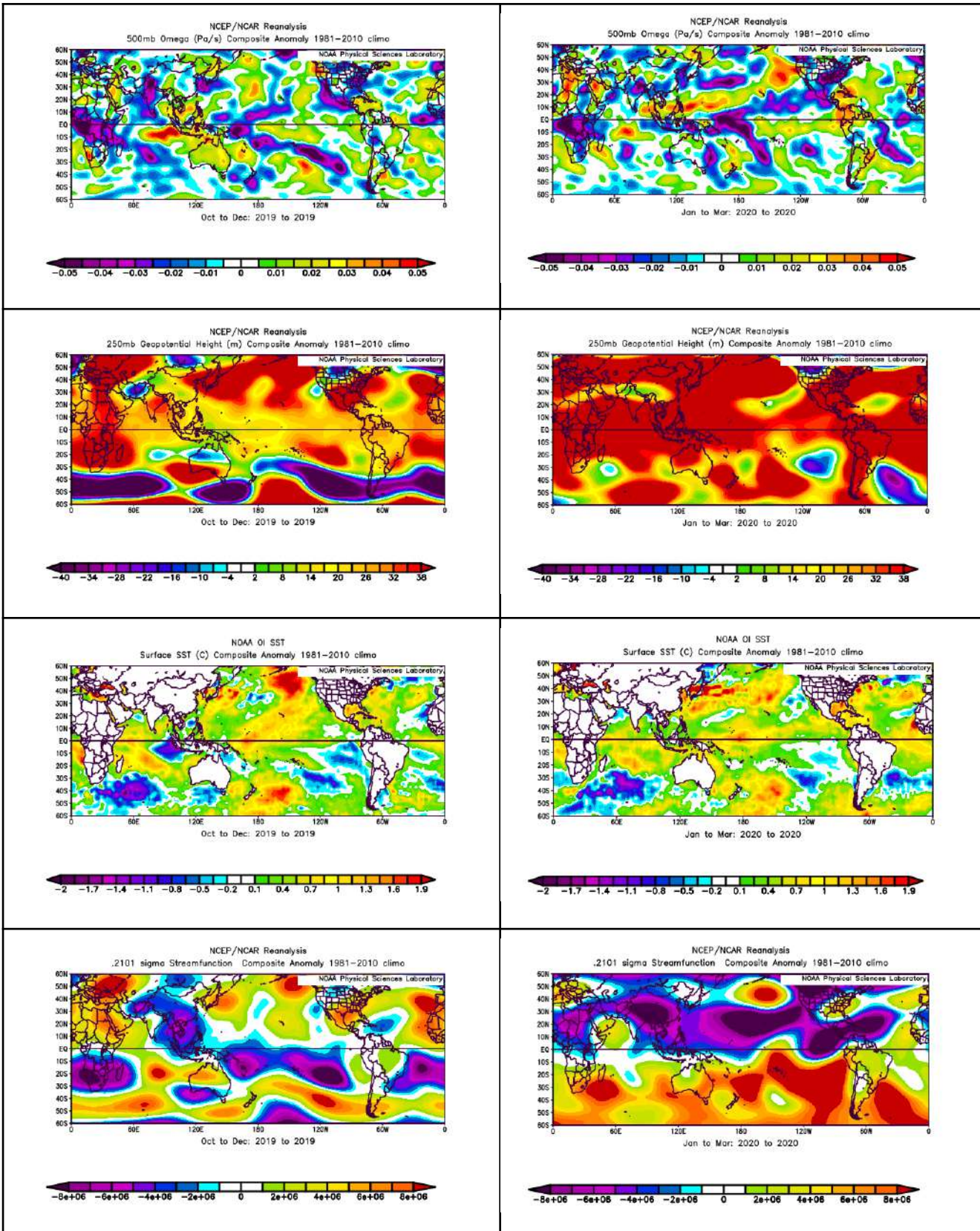


Figura 7: Anomalias médias para os trimestres OUT-DEZ (coluna à esquerda) e JAN-MAR (coluna à direita) da estação chuvosa de 2019-2020, para as variáveis (a,b) precipitação, (c,d) ROL, (e,f) Omega em 500 hPa, (g,h) altura geopotencial em 250 hPa, (i,j) TSM e (k,l) função de corrente.

## **Análise trimestral para a estação chuvosa 2020-2021**

A análise trimestral da estação chuvosa de 2020-2021 evidencia que o Pacífico Equatorial apresenta anomalias negativas de TSM (Fig. 8i,j), com valores de até  $-1,7^{\circ}\text{C}$ , indicando a presença de um evento La Niña. Os dois trimestres são caracterizados por anomalias negativas no Pacífico Equatorial, sendo os valores mais intensos observados entre outubro e dezembro de 2020. Associando-se às anomalias de TSM, os valores de anomalia de altura geopotencial em 250 hPa (Fig. 8g,h) indicam que a atmosfera ainda apresenta, em grande parte do globo, valores positivos em relação aos valores médios, seguindo o padrão da estação chuvosa anterior, 2019-2020, entretanto, apresenta também áreas mais extensas com valores negativos, provavelmente associadas aos valores negativos das anomalias de TSM (Fig. 8i,j).

Os mapas com anomalias de precipitação mostram grande parte da América do Sul com anomalias negativas (Fig. 8a,b), expressando a seca intensa observada na estação chuvosa de 2020-2021. Os meses de outubro e novembro de 2020 (Fig. 10a,b) apresentam anomalias positivas de chuva no nordeste e anomalias negativas no sudeste da América do Sul, o que é corroborado pelo padrão espacial de omega em 500 hPa, apenas para o mês de novembro de 2020 (Fig. 8c), e, pelos padrões de altura geopotencial em 850 hPa (Fig. 8e) que indicam anomalias negativas nas áreas com excesso de precipitação.

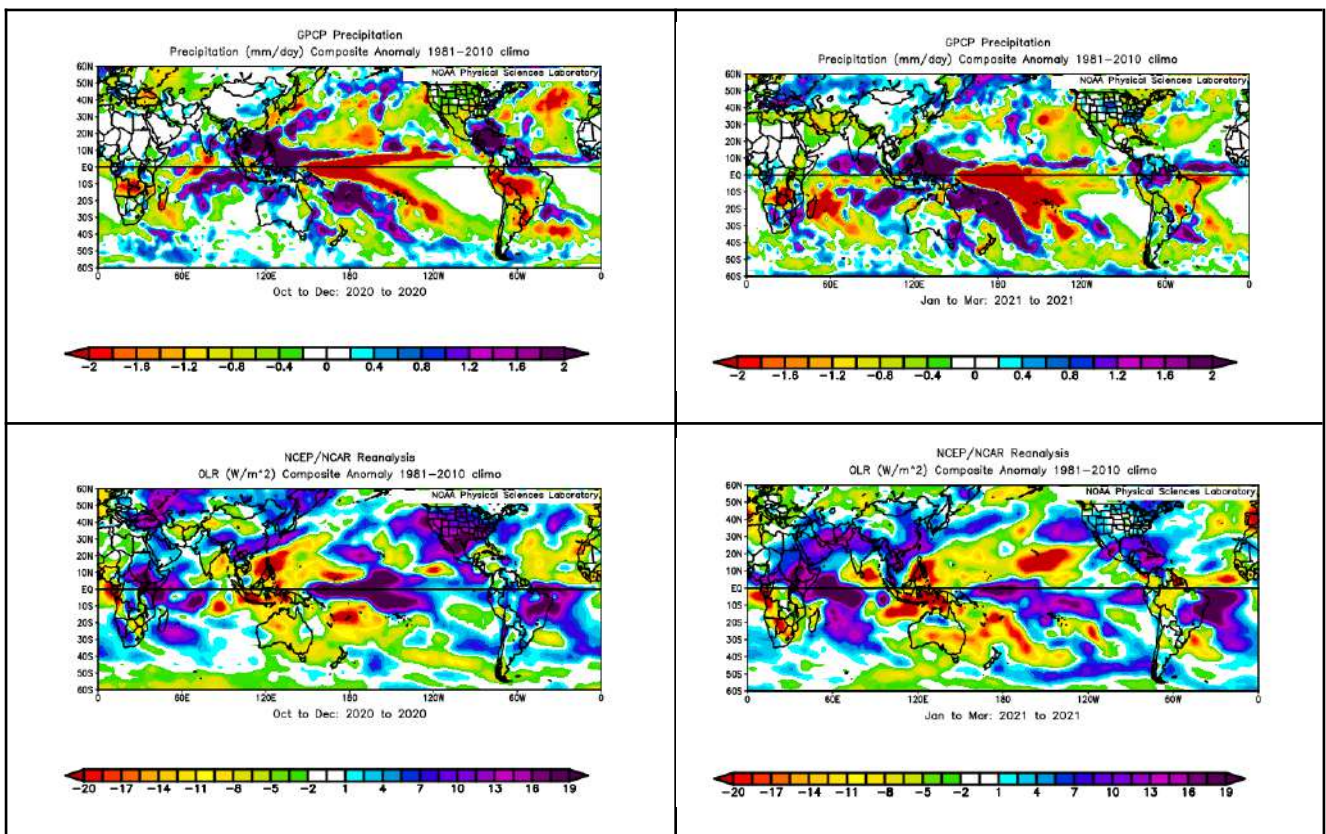
Os meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021 apresentam padrão oposto a outubro e novembro de 2020, com anomalias negativas no nordeste e anomalias positivas de chuva no sudeste da AS. Fevereiro e março de 2021 apresentam padrões opostos entre si em relação às anomalias de chuva nas regiões sudeste e nordeste da AS, sendo fevereiro de 2021 semelhante ao padrão de outubro e novembro de 2020 e, março de 2021, semelhante ao padrão de dezembro de 2020 e janeiro de 2021. De dezembro de 2020 a março de 2021, os padrões de ROL são condizentes com os padrões de anomalias de precipitação, indicando anomalias positivas em áreas com déficit e anomalias negativas com excesso de precipitação.

A análise cronológica da anomalia da TSM no Pacífico Equatorial centro-leste indica que os períodos definidos pelas estações chuvosas de 2019-2020 e 2020-2021 apresentam características distintas. Enquanto o primeiro período é caracterizado por valores próximos à média climatológica no Pacífico Equatorial centro-leste e anomalias positivas em áreas extensas do globo, o segundo período é caracterizado por anomalias negativas mais



pronunciadas no Pacífico Equatorial centro-leste, chegando a ser caracterizado um evento LN, com anomalias de até  $-1,7$  oC. No período da estação chuvosa de 2019-2020, as anomalias de precipitação no Pacífico Equatorial apresentam características peculiares nos dois trimestres analisados, com aumento de precipitação entre  $140$  oO e  $180$  oO e a oeste de  $70$  oL, e, diminuição da precipitação na região da Indonésia e Austrália e a leste de  $180$  oO (Fig. 7a,b). Neste período as anomalias de TSM no Pacífico ainda estão próximas da média, não sendo caracterizado evento de EN ou de LN (Fig.7 i,j).

Por outro lado, a estação chuvosa de 2020-2021, caracterizada por anomalias negativas de TSM nos dois trimestres (Fig. 8i,j), apresenta anomalias de precipitação mais associadas ao padrão de LN, com mais chuvas sobre a Indonésia e Austrália e menos chuva sobre o setor central do Pacífico Equatorial. Este padrão esteve associado a anomalias positivas de chuva no extremo norte da América do Sul, cobrindo áreas dos setores norte e noroeste (Fig. 8a,b).



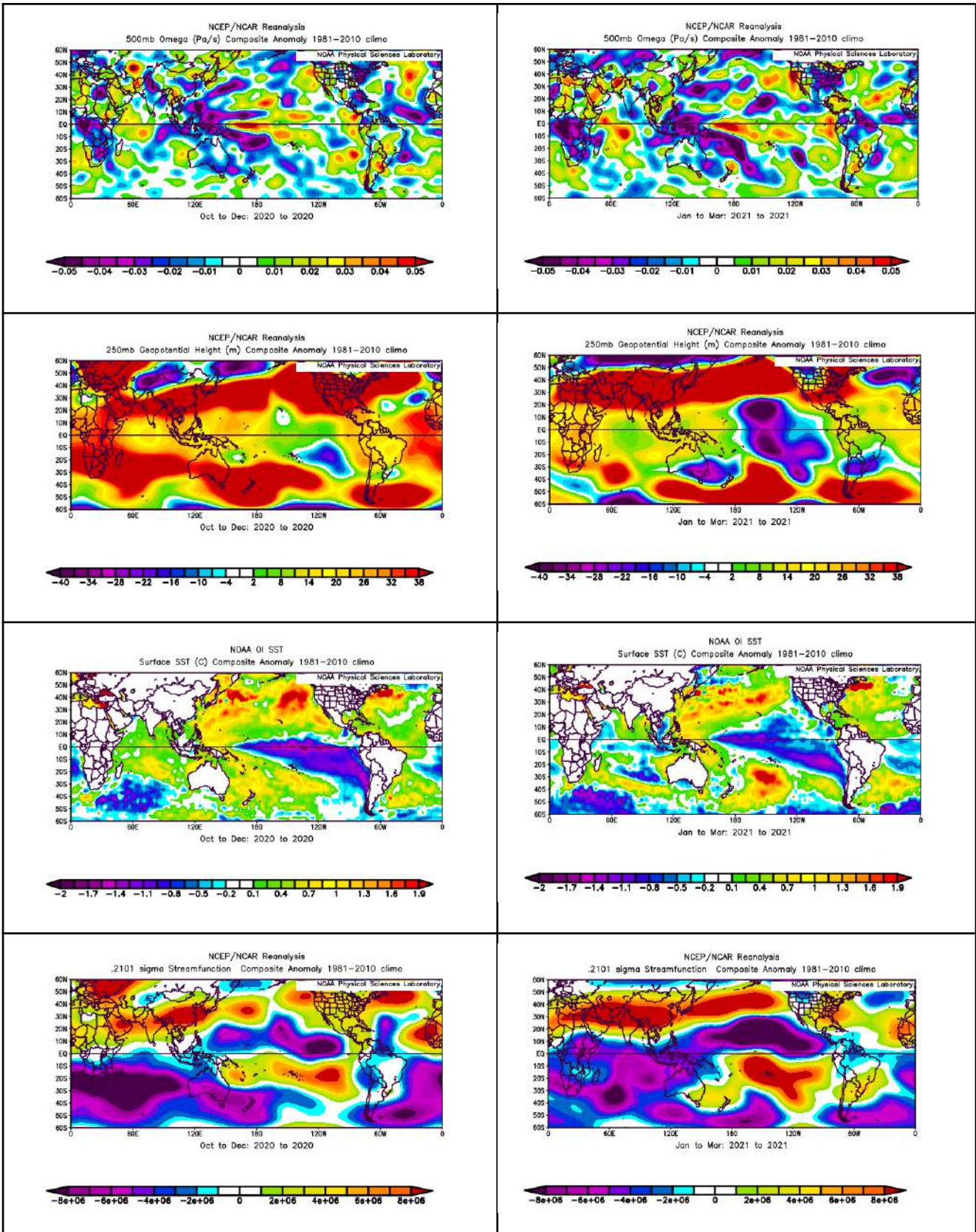


Figura 8: Anomalias médias para os trimestres OUT-DEZ (coluna à esquerda) e JAN-MAR (coluna à direita) da estação chuvosa de 2020-2021, para as variáveis (a,b) precipitação, (c,d) ROL, (e,f) Omega em 500 hPa, (g,h) altura geopotencial em 250 hPa, (i,j) TSM e (k,l) função de corrente.



## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Neste estudo procuramos analisar os padrões climáticos relacionados à seca severa observada nas estações chuvosas de 2019-2020 e 2020-2021 na América do Sul. As análises foram feitas com base em mapas de anomalia de precipitação, variáveis atmosféricas da reanálise I do NCEP-NCAR e temperatura da superfície do mar, elaborados no *site* do PSL-NOAA.

A seca observada nas estações chuvosas de 2019 a 2021, nos meses de outubro a março, esteve associada a padrões climáticos que propiciaram tal situação. De forma geral, as anomalias de ROL indicam menor formação de nebulosidade nas regiões central e sudeste da América do Sul. A análise da velocidade vertical em 500 hPa permite verificar que em grande parte da América do Sul predominou a intensificação de anomalias descendentes do ar, ou melhor, o enfraquecimento de movimentos ascendentes. Na estação de 2020-2021, as anomalias positivas de omega em 500 hPa foram mais intensas nas regiões central, sudeste e sul da América do Sul. Os mapas de função de correntes em altos níveis indicam a presença predominante de anomalias de circulação anticiclônica, contribuindo para a inibição da formação de nuvens. Tal comportamento deve ter se propagado até os baixos níveis atmosféricos para contribuir para a escassez hídrica. Em relação às condições oceânicas no Pacífico, observa-se a presença de anomalias positivas de TSM em grande parte das áreas extratropicais decorrentes do evento forte do El Niño de 2015-2016. Os mapas de altura geopotencial indicam a elevação dos níveis de pressão na atmosfera em decorrência da atmosfera mais aquecida associada ao EN de 2015-2016, o que é mais evidente na estação chuvosa de 2019-2020.

Em alguns meses da primeira estação chuvosa analisada, como os meses de outubro e novembro de 2019, a associação direta entre as anomalias mensais das variáveis analisadas não foi observada. Em tais situações, algumas áreas que apresentaram mais nebulosidade, por exemplo, apresentaram também déficit de precipitação. Isso demonstra que a média mensal não permite explicar todos os processos existentes nos padrões climáticos analisados. Adicionalmente, existem fatores de menores escalas que podem também ter exercido influência nas anomalias climáticas observadas, como o relevo, por exemplo.. Na escala regional, o desmatamento observado nas regiões leste e sul da floresta amazônica podem também interferir nos processos de formação de precipitação na América do Sul.

Apesar de a estação chuvosa de 2020-2021 ter apresentado déficit hídrico, anomalias positivas de ROL e de omega em 500 hPa, a explicação da falta de precipitação através da propagação de ondas de Rossby entre o Pacífico e a América do Sul apresenta padrões sinóticos mais complexos que os da estação chuvosa de 2019-2020, apresentando campos com anomalias menos intensas. O cálculo das anomalias considerando testes de significância para cada média permitiria chegar a conclusões mais robustas acerca das análises realizadas. Para tanto, seria necessária a manipulação dos dados considerados em programas computacionais adequados. A análise de campos climáticos na escala semanal ou quinzenal pode trazer novas informações para a análise mensal.

O déficit hídrico observado na América do Sul nestas duas estações chuvosas, de 2019 a 2021, impactou diretamente os níveis dos reservatórios de importantes hidrelétricas da região, levando o país a enfrentar uma forte crise hídrica. O retorno de padrões climáticos tais como os apresentados na presente pesquisa podem levar a condições mais graves, como o interrompimento compulsório do fornecimento de energia (apagões) a sociedade, o que poderia ocorrer em regiões economicamente produtivas acarretando diversos prejuízos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, R.F., G.J. Huffman, A. Chang, R. Ferraro, P. Xie, J. Janowiak, B. Rudolf, U. Schneider, S. Curtis, D. Bolvin, A. Gruber, J. Susskind, and P. Arkin, 2003: The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *J. Hydrometeor.*, 4,1147-1167.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Mudanças Climáticas. In: BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Atmosfera, tempo e clima. Bookman Editora, 2009.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Climanálise Boletim. CPTEC. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <[http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/notas\\_0308.shtml](http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/notas_0308.shtml)>

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Sistema de Monitoramento de Seca para o Brasil Novembro/2019. Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais. Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais. 2019. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/sistema-de-monitoramento-de-seca-para-o-brasil-novembro2019/>>

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. CMSE amplia possibilidade de adoção de medidas excepcionais diante da permanência de condições adversas de atendimento. 05/05/2021. Disponível em:

<<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/cmse-amplia-possibilidade-de-adocao-de-medidas-e-xcepcionais-diante-da-permanencia-de-condicoes-adversas-de-atendimento>>

BRASIL. Monitor de Secas. Monitor de Secas Dezembro/2020. Monitor de Secas. 2020. Disponível em: <<https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=12&ano=2020>>

COELHO, C. A. DOS SANTOS. Anomalias de Precipitação sobre a América do Sul e sua relação com a temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico durante períodos de extremos de El Niño Oscilação Sul. 2011. Rev. bras. meteorol. 26, Set. 2011.

CONTI, J.B. (1975). Circulação secundária e efeito orográfico na gênese das chuvas na região leste paulista. São Paulo. (Série teses e monografias) USP/IG.

CORRÊA, Roberto Lobato. Organização do Espaço: Dimensões, Processo, Forma e Significados. GEOGRAFIA, Rio Claro, v. 36, Número Especial, p. 7-16, jan. 2011.

Woodruff, S. D., H. F. Diaz, J. D. Elms, and S. J. Worley, 1998: COADS Release 2 data and metadata enhancements for improvements of marine surface flux fields. Phys. Chem. Earth, 23 , 517–527.

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. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bulletin of the American Meteorological Society. 1996. 437-472. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/77/3/1520-0477\\_1996\\_077\\_0437\\_tnyrp\\_2\\_0\\_co\\_2.xml?tab\\_body=pdf](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/77/3/1520-0477_1996_077_0437_tnyrp_2_0_co_2.xml?tab_body=pdf)>

GRIMM, AM, 2003: O impacto do El Niño nas monções de verão no Brasil: processos regionais versus influências remotas. Journal of Climate, 16, 263-280.

LETSCHE, Mikhaela A.J.S. ; SILVA, Junior, CELSO H.L. ; PENHA, Thales V. ; KÖRTING, Thales S. ; SILVA, Maria E.S. ; PEREIRA, Gabriel ; ANDERSON, Liana O. ; ARAGÃO, Luiz E.O.C.: The

2020 Brazilian Pantanal fires. ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS **JCR**, v. 93, p. 1-3, 2021.

LIMA, Bruna Simões. Oscilação Decadal do Pacífico e sua Influência nos Padrões Climáticos Sazonais da América do Sul. 2020. 147 f. Tese (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

LIMBERGER, Leila. Variabilidade da vazão de regiões homogêneas da bacia hidrográfica amazônica brasileira: teleconexões com a temperatura da superfície do mar (TSM) de 1976-2010. 2015. 484 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

MARENGO, José A. Mudanças Climáticas, Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <[http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS\\_MudancasClimaticas.pdf](http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf)>

MO, K.C e NOGUÉS-PAEGLE, J. (2001). The Pacific–South American modes and their downstream effects. *Int. J. Climatol.*, 21: 1211–1229.

MO, K.C. e HIGGINS, R.W. (1997). The Pacific–South American Modes and Tropical Convection during the Southern Hemisphere Winter. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 1581–1596.

MO, K.C. e GHIL, M. (1987). Statistics and dynamics of persistent anomalies. *Journal of the Atmosphere Sciences*. 144, 808-823.

MONTEIRO, C.A.F. (1976). O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas. São Paulo: IGEOG.

MONTEIRO, C.A.F. (1971). Análise Rítmica em Climatologia. *Climatologia* 1, São Paulo. IGEOG/USP, 1971.

National Centers for Environmental Prediction/National Weather Service/NOAA/U.S. Department of Commerce. 1994, updated monthly. NCEP/NCAR Global Reanalysis Products, 1948-continuing. Research Data Archive at NOAA/PSL: /data/gridded/data.ncep.reanalysis.html.

NETO, João Lima Sant'Anna. CLIMA E ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO. *Boletim de Geografia*, v. 16, n. 1, p. 119-132, 2 fev. 2011.

NOAA. Physical Sciences Laboratory. 2020. The NOAA Physical Sciences Laboratory (PSL) conducts weather, climate and hydrologic research to advance the prediction of water availability and extremes. Disponível em: <<https://psl.noaa.gov/>> Acesso em 18/03/2022

NOAA. Sea Surface Temperature (SST). 2021. Disponível em: <[https://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/sst.html#:~:text=\(SST%20is%20defined%20as%20the,of%20the%20ocean%20surface%20water.\)&text=This%20global%205km%20Sea%20Surface,5%20to%20%2B5%20%C2%B0C.](https://www.ospo.noaa.gov/Products/ocean/sst.html#:~:text=(SST%20is%20defined%20as%20the,of%20the%20ocean%20surface%20water.)&text=This%20global%205km%20Sea%20Surface,5%20to%20%2B5%20%C2%B0C.)> Acesso em 18/03/2022

NONATO, Viviane Samara Barbosa. Sistema Nacional de Meteorologia SNM Emite Alerta de Emergência Hídrica. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. 28/05/2021. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/noticias/sistema-nacional-de-meteorologia-snm-emite-alerta-de-emerg%C3%Aancia-h%C3%ADdrica>>

PENDERGRASS, Angeline; WANG, Jian-Jian; National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 06 Nov 2020. "The Climate Data Guide: GPCP (Monthly): Global Precipitation Climatology Project." Disponível em: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/gpcp-monthly-global-precipitation-climatology-project>.

PLETSCH, Mikhaela A.J.S.; JUNIOR Celso H.L. Silva; PENHA, Thales V.; KORTING, Thales S.; SILVA, Maria E. S.; PEREIRA, Gabriel; ANDERSON, Liana O.; ARAGÃO, Luiz E.O.C. The 2020 Brazilian Pantanal Fires. 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/aabc/a/qzzMkLg6FHpbg3tc5DDbQvH/?lang=en> )>

REBOITA, Michelle Simões; GAN, Manoel Alonso; ROCHA, Rosmeri Porfírio da; AMBRIZZI, Tércio. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. 2009. Revista Brasileira de Meteorologia. Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yhrG5QPXhBCkZXcGKgyzWvf/?lang=pt&format=pdf>>

REBOITA, MS Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.2, 185 - 204, 2010.

REINKE, Guilherme Lauxe. Padrões de anomalias da temperatura da superfície dos Oceanos Pacífico e Atlântico associados à Radiação de Onda Longa na América do Sul e à precipitação no Brasil..

2009. 121 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

Reynolds, RW, NA Rayner, TM Smith, DC Stokes e W. Wang, 2002: Uma análise SST melhorada in situ e por satélite para o clima. *J. Clima*, 15, 1609-1625.

ROPELEWSKI, C. F., & Halpert, M. S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly weather review*, 115(8), 1606-1626. [doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2)

SANDRI, Amábyle; BARRETO, Elis. Brasil aumentou em 121% emissões de CO2 por uso de termelétricas em 2021. CNN Brasil. 29/10/2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/brasil-aumentou-em-121-emissoes-de-co2-por-uso-de-termelétricas-em-2021/#:~:text=Um%20levantamento%20do%20Instituto%20de,f%C3%B3sseis%20utilizados%20em%20usinas%20termel%C3%A9tricas.>>>

SANT'ANNA NETO, J.L. (1990). Ritmo climático e a gênese das chuvas na Zona Costeira Paulista. (Dissertação de Mestrado). FFLCH/USP.

SILVA, Carlos Batista da. Variabilidade Climática Espectral da Temperatura da Superfície do Mar e sua Associação com o Clima da América do Sul. 2017. 210 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

SILVA, M. E. S., & Silva, C. B. (2012). VARIABILIDADE CLIMÁTICA – PROCESSOS FÍSICOS E DINÂMICOS NOS OCEANOS E ATMOSFERA. *Revista Do Departamento De Geografia*, 372-406. <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0112.0016>.

SHIMABUKURO, Y.E.; Dutra, A.C.; Arai, E.; Duarte, V.; Cassol, H.L.G.; Pereira, G.; Cardozo, F.d.S. Mapping Burned Areas of Mato Grosso State Brazilian Amazon Using Multisensor Datasets. *Remote Sens.* 2020, 12, 3827. <https://doi.org/10.3390/rs12223827>

SZEREDI, I e KAROLY, D. (1987a). The vertical structure of monthly fluctuations of the Southern Hemisphere troposphere. *Australian Meteorological Magazine.*, 35:19–30.

TARIFA, J.R. (1975). Os fluxos polares e as chuvas da primavera-verão no Estado de São Paulo: uma análise quantitativa do processo genético. (Série Teses e Monografias). IGEOG/USP. São Paulo.

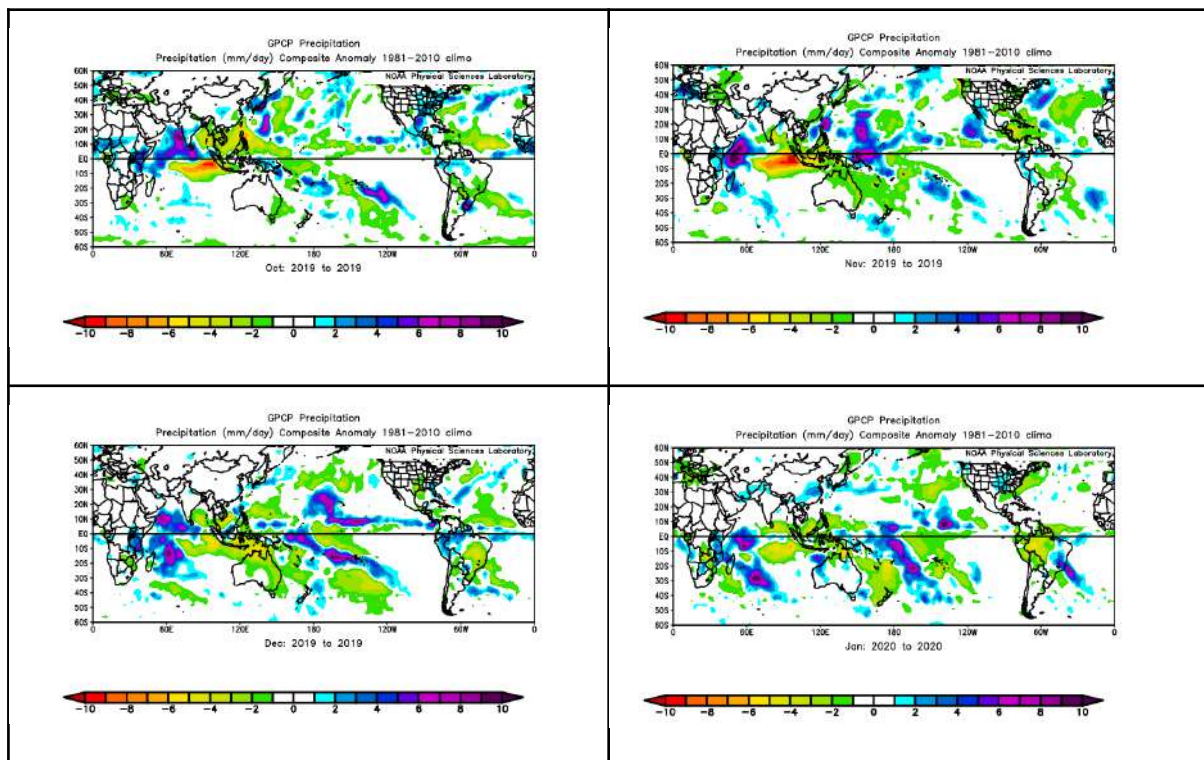
VILLELA, Iraídes Aparecida de Castro; ANTUNES, Júlio Santana; SILVEIRA, José Luz. Impacto Ambiental de uma Planta Termelétrica: Emissões de Dióxido de Carbono, Óxidos de Nitrogênio, Material Particulado e Dióxido Sulfúrico. 2007. Janus, lorena, v. 4, n. 5, p. 114-132, jan./jun., 2007. Disponível em: <<http://unifatea.com.br/seer3/index.php/Janus/article/view/184/155>>

WALKER, G.T. e BLISS, E.M. (1932). World Weather. V Mem. Roy. Meteor. Soc., 4:53-84.

WILKS, DS. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences (Volume 100) (International Geophysics, Volume 100) 3rd Edition.

## APÊNDICE

No Apêndice, apresentamos mapas com as anomalias médias mensais para cada uma dos meses constituintes de cada período chuvoso analisado, 2019-2020 e 2020-2021, para as variáveis consideradas: precipitação, ROL, omega 500 hPa, altura geopotencial e função de corrente (completar os níveis).





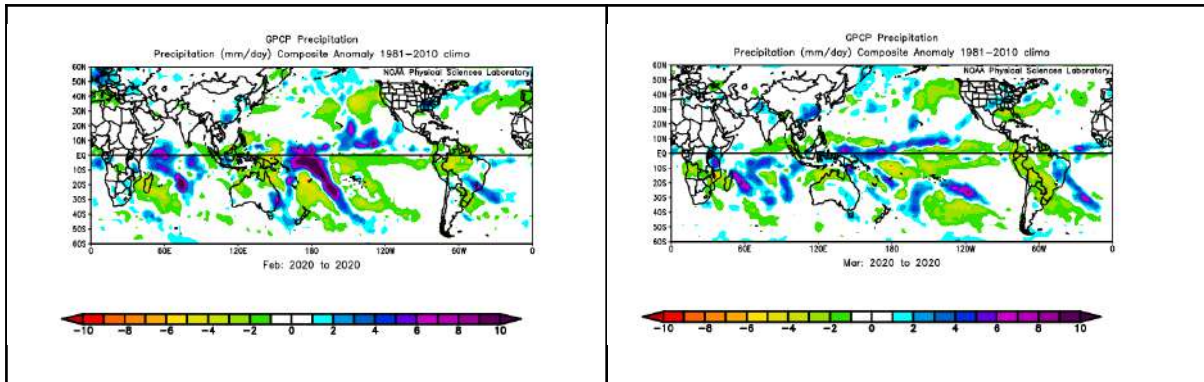


Figura A1: Anomalias médias mensais para variável de precipitação para as estações chuvosas de 2019-2020: (a,b) outubro e novembro de 2019, (c,d) dezembro de 2019 e janeiro de 2020 e (e,f) fevereiro e março de 2020.

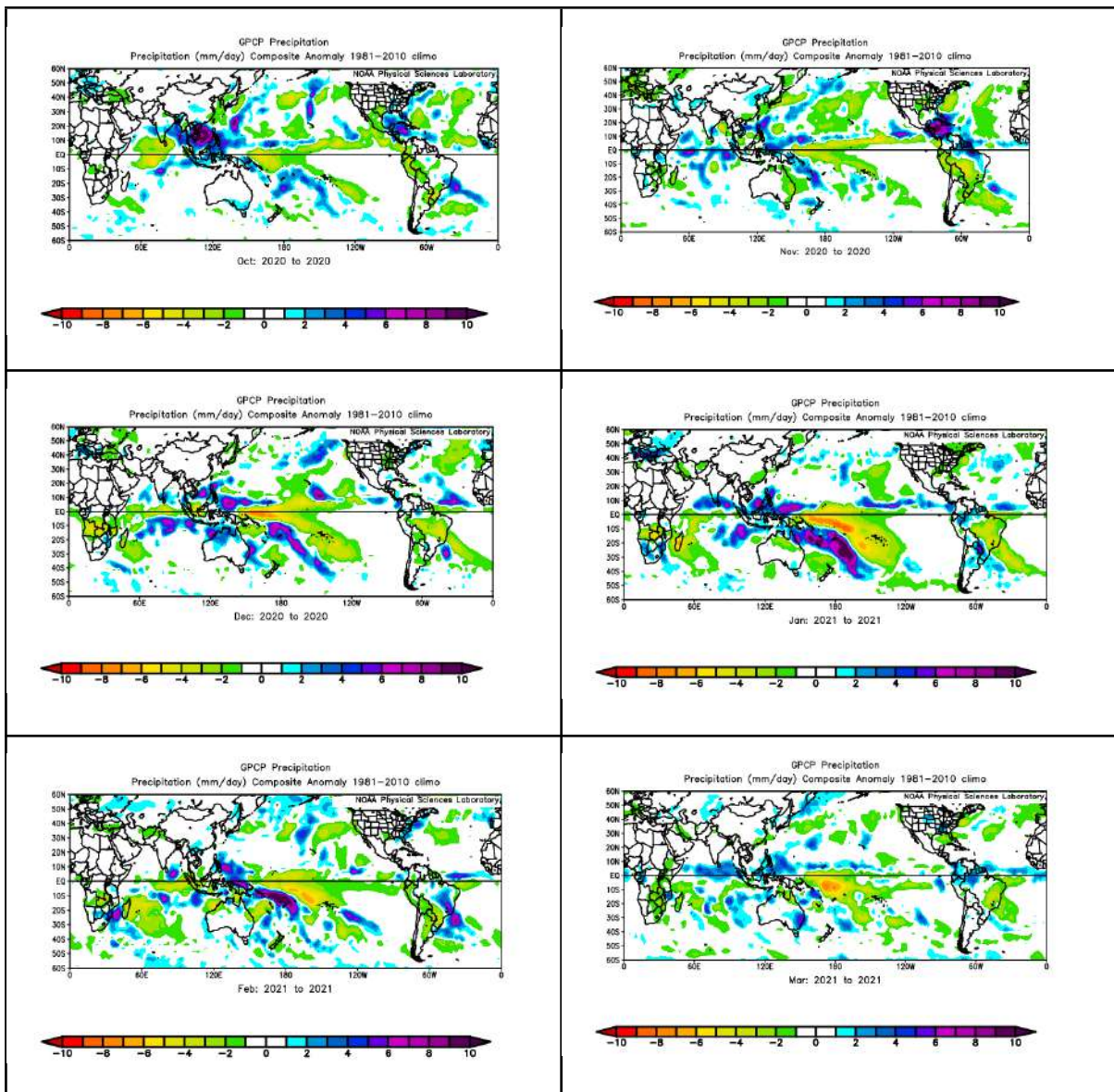




Figura A2: Anomalias médias mensais para variável de precipitação para as estações chuvosas de 2020-2021: (a,b) outubro e novembro de 2020, (c,d) dezembro de 2020 e janeiro de 2021 e (e,f) fevereiro e março de 2021.

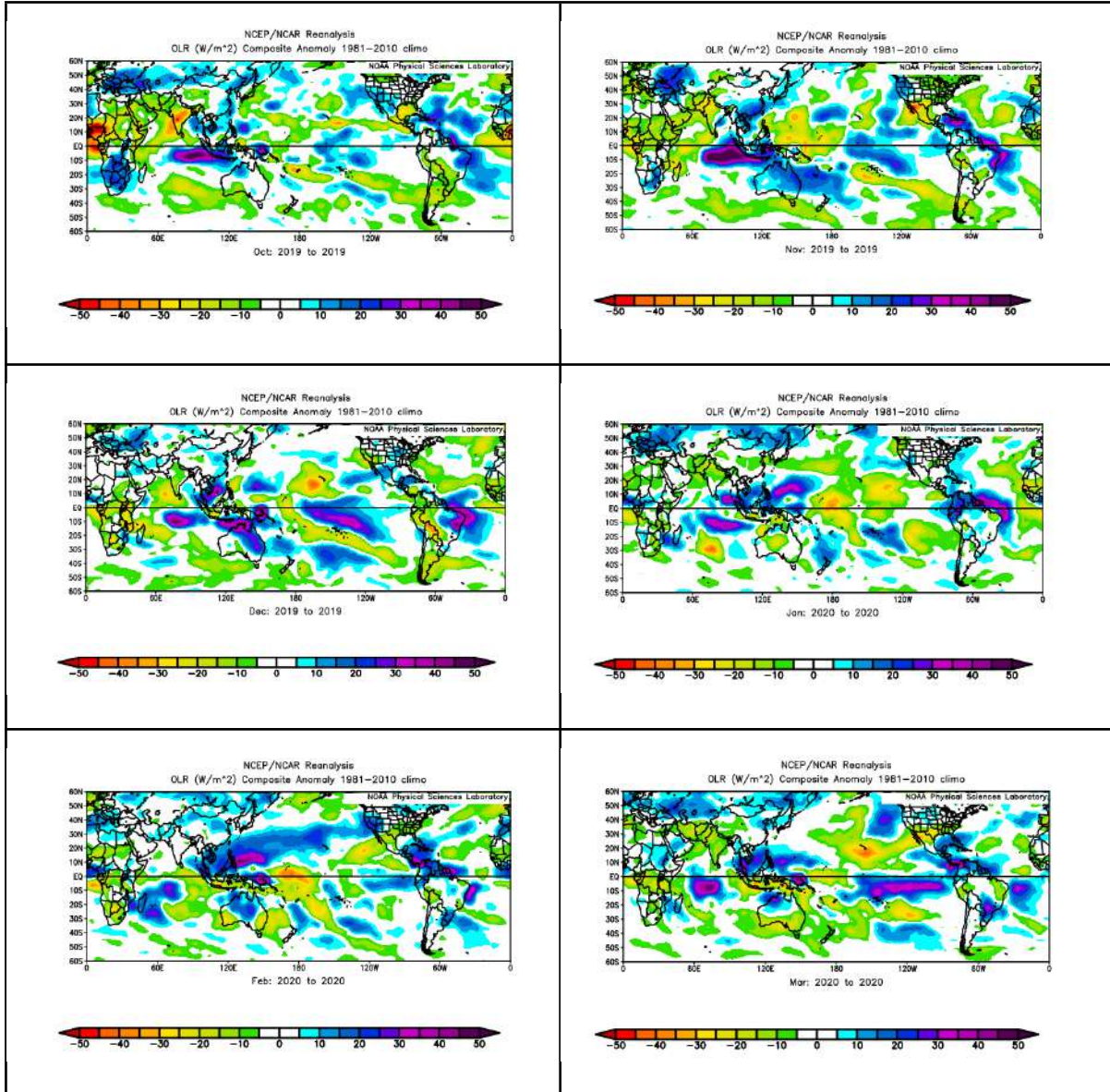


Figura A3: Anomalias médias mensais para variável ROL para as estações chuvosas de 2019-2020: (a,b) outubro e novembro de 2019, (c,d) dezembro de 2019 e janeiro de 2020 e (e,f) fevereiro e março de 2020.

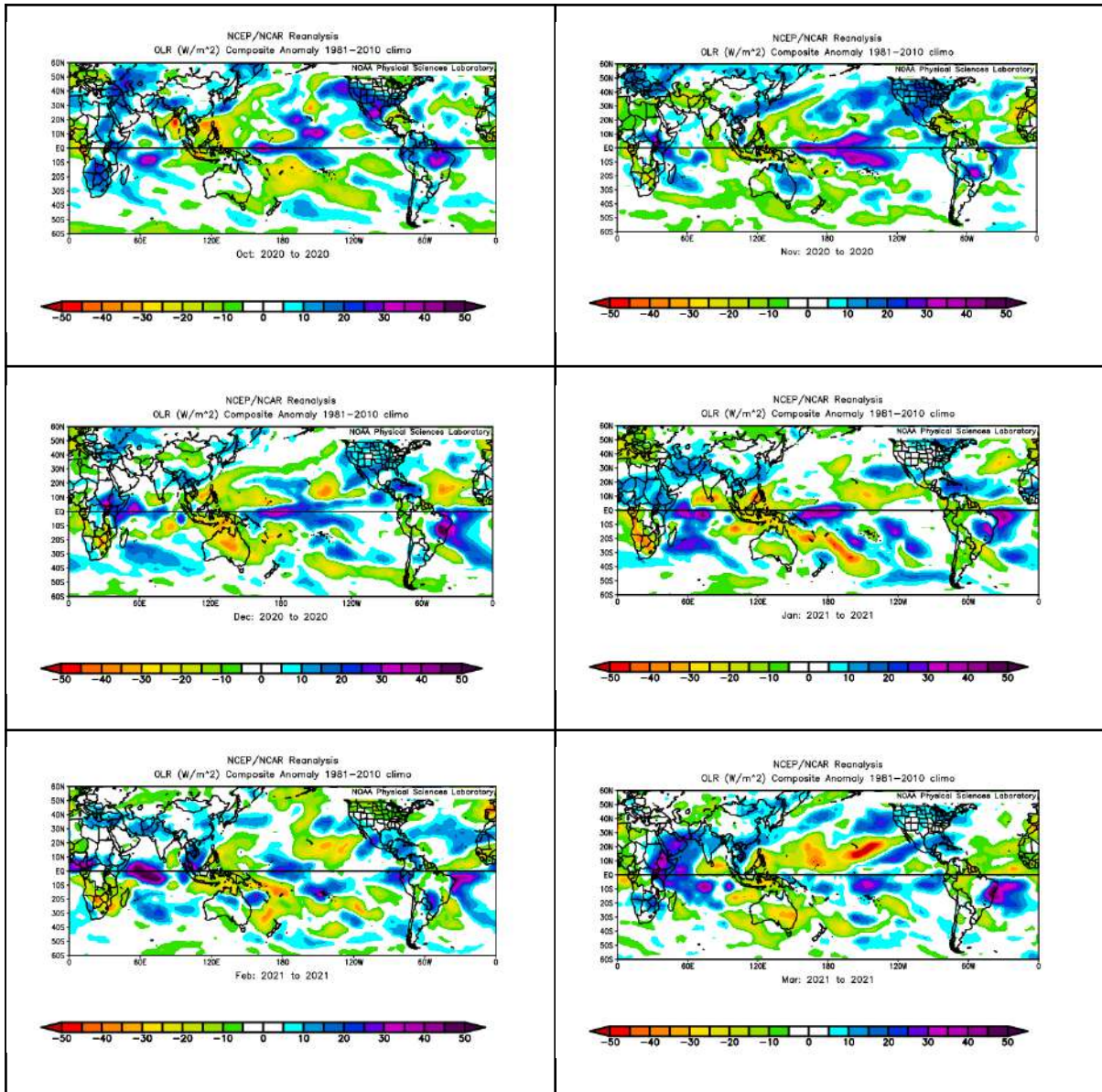
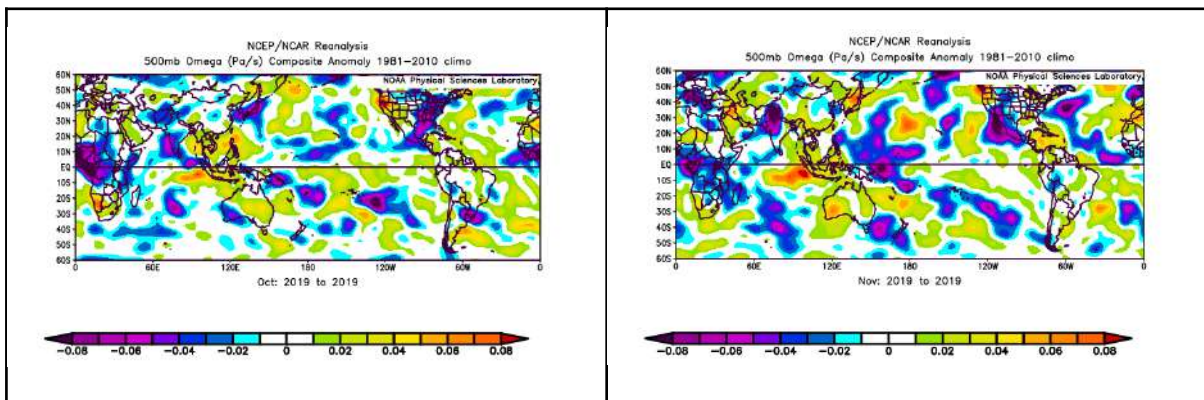


Figura A4: Anomalias médias mensais para variável ROL para as estações chuvosas de 2020-2021: (a,b) outubro e novembro de 2020, (c,d) dezembro de 2020 e janeiro de 2021 e (e,f) fevereiro e março de 2021.





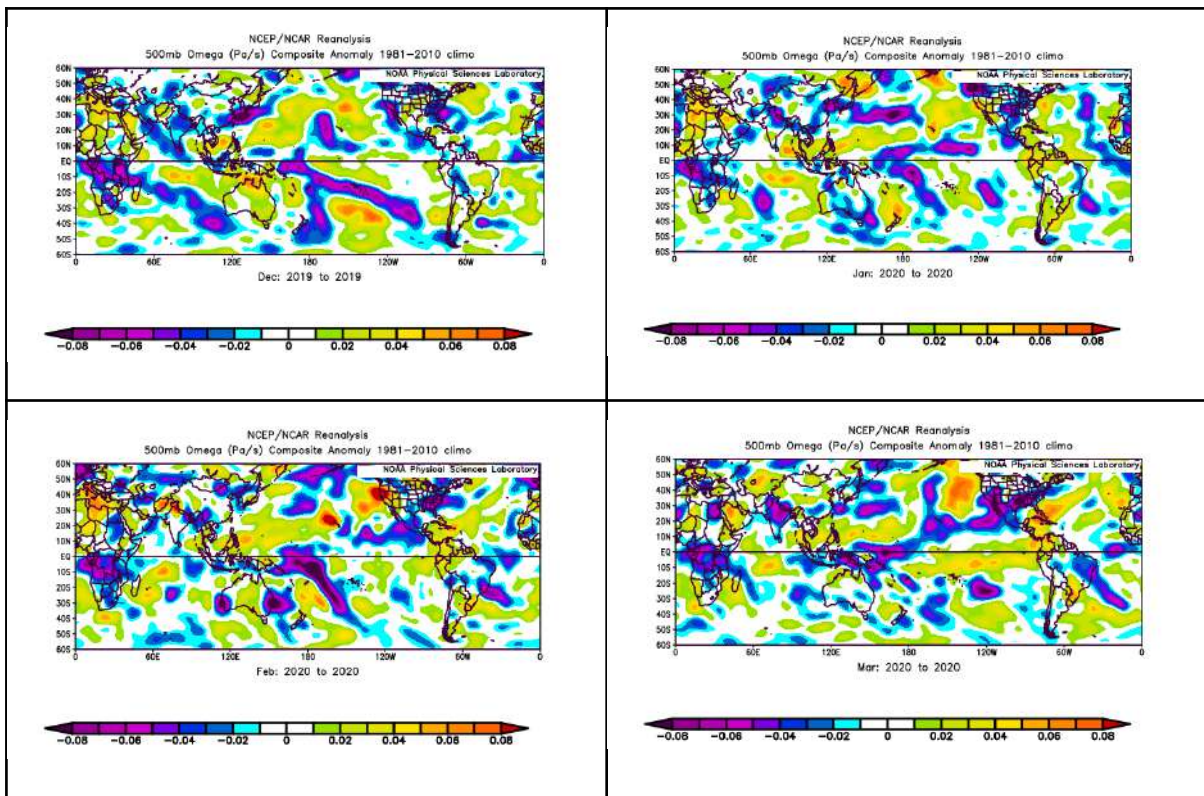
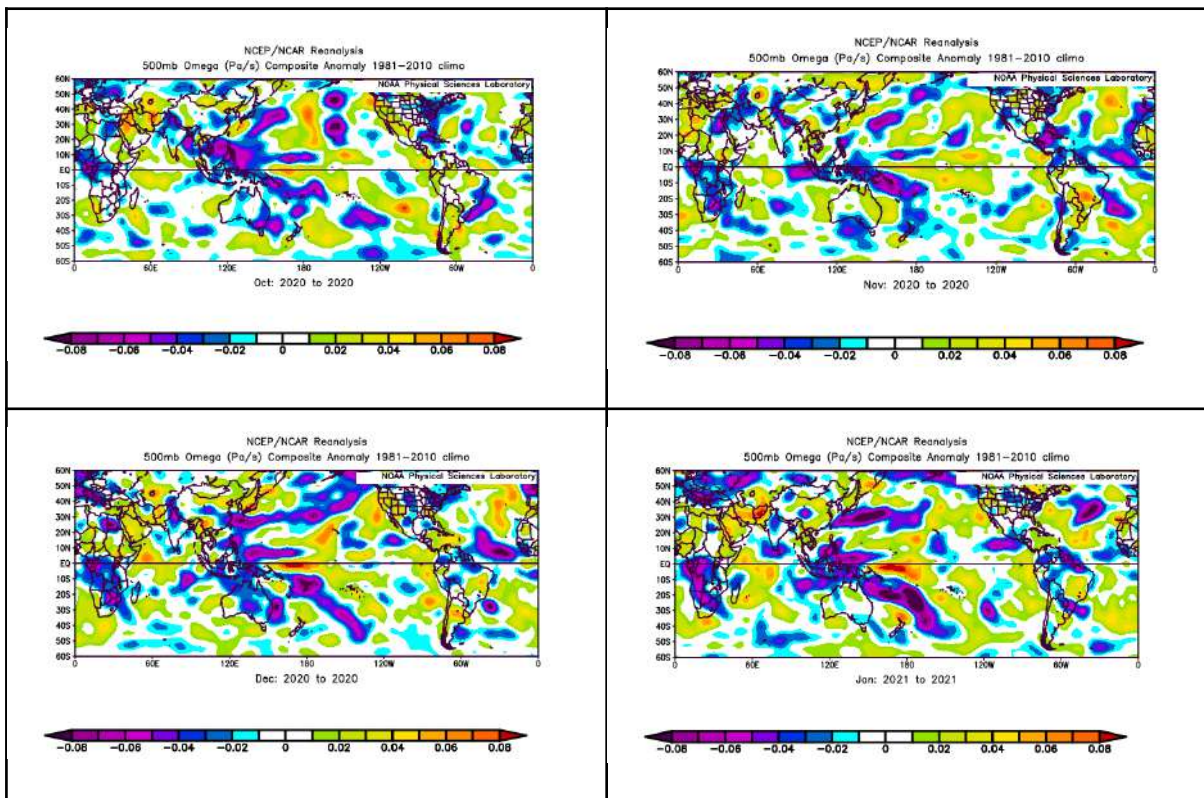


Figura A5: Anomalias médias mensais para variável velocidade vertical para as estações chuvosas de 2019-2020: (a,b) outubro e novembro de 2019, (c,d) dezembro de 2019 e janeiro de 2020 e (e,f) fevereiro e março de 2020.





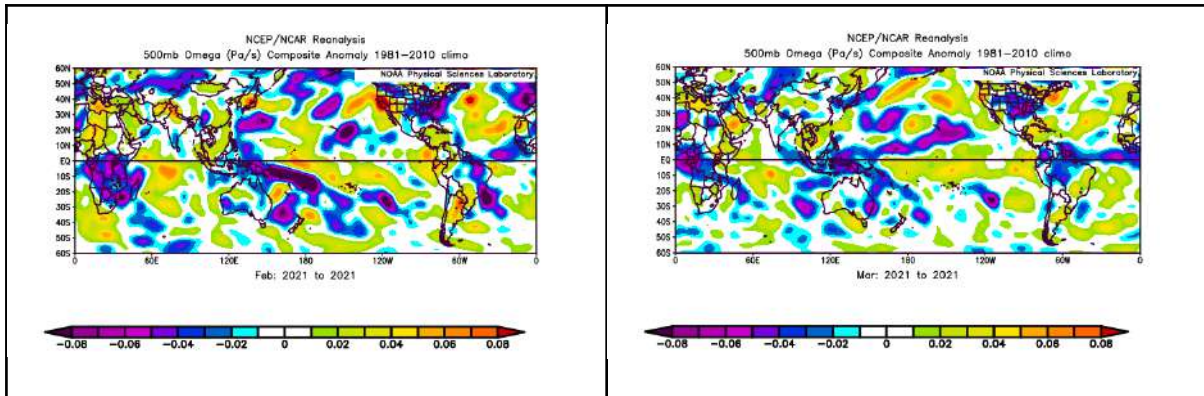


Figura A6: Anomalias médias mensais para variável velocidade vertical para as estações chuvosas de 2020-2021: (a,b) outubro e novembro de 2020, (c,d) dezembro de 2020 e janeiro de 2021 e (e,f) fevereiro e março de 2021.

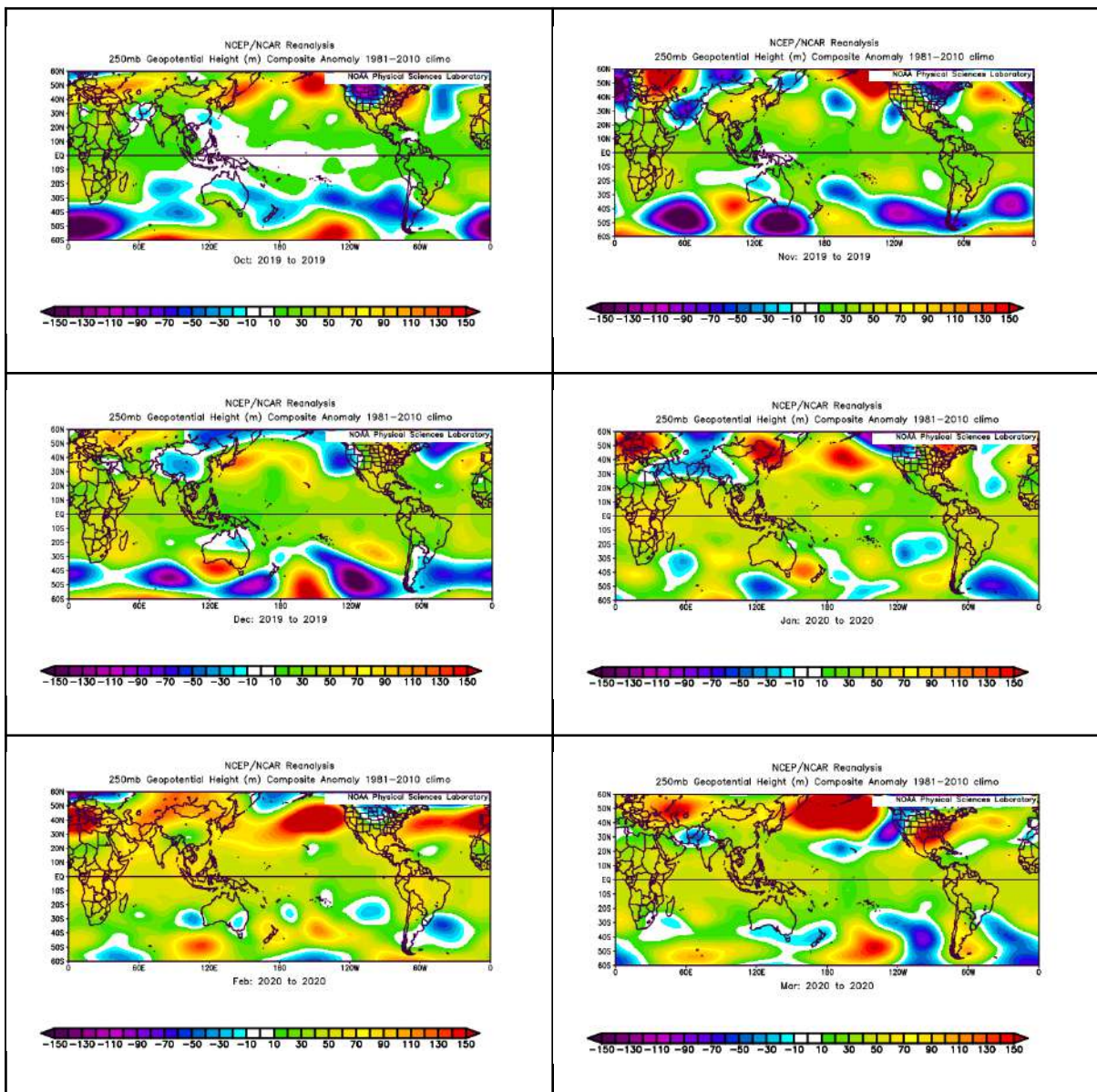


Figura A7: Anomalias médias mensais para variável de altura geopotencial em 250 mb para as estações chuvosas de 2019-2020: (a,b) outubro e novembro de 2019, (c,d) dezembro de 2019 e janeiro de 2020 e (e,f) fevereiro e março de 2020.

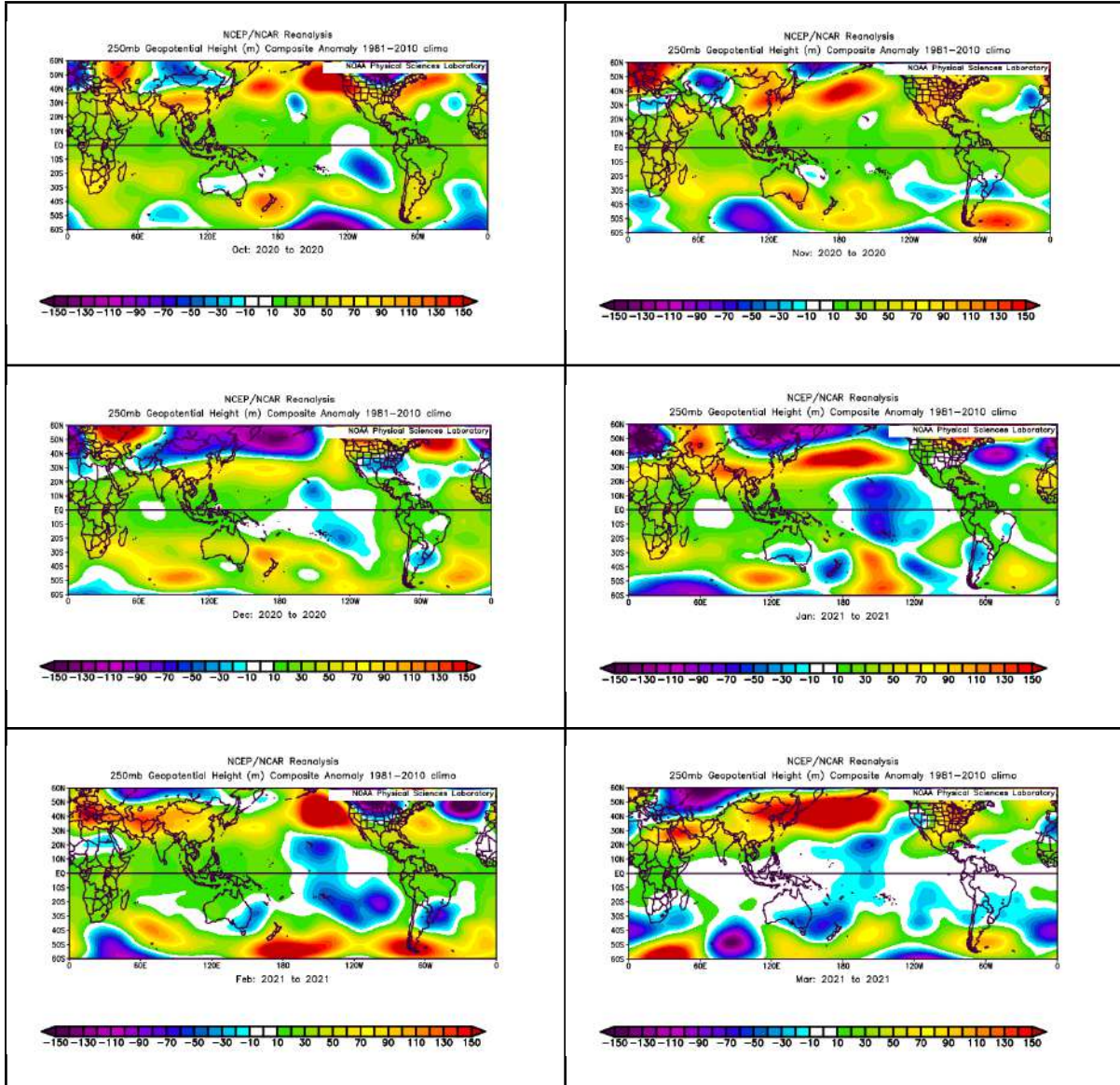


Figura A8: Anomalias médias mensais para variável de altura geopotencial em 250 mb para as estações chuvosas de 2020-2021: (a,b) outubro e novembro de 2020, (c,d) dezembro de 2020 e janeiro de 2021 e (e,f) fevereiro e março de 2021.



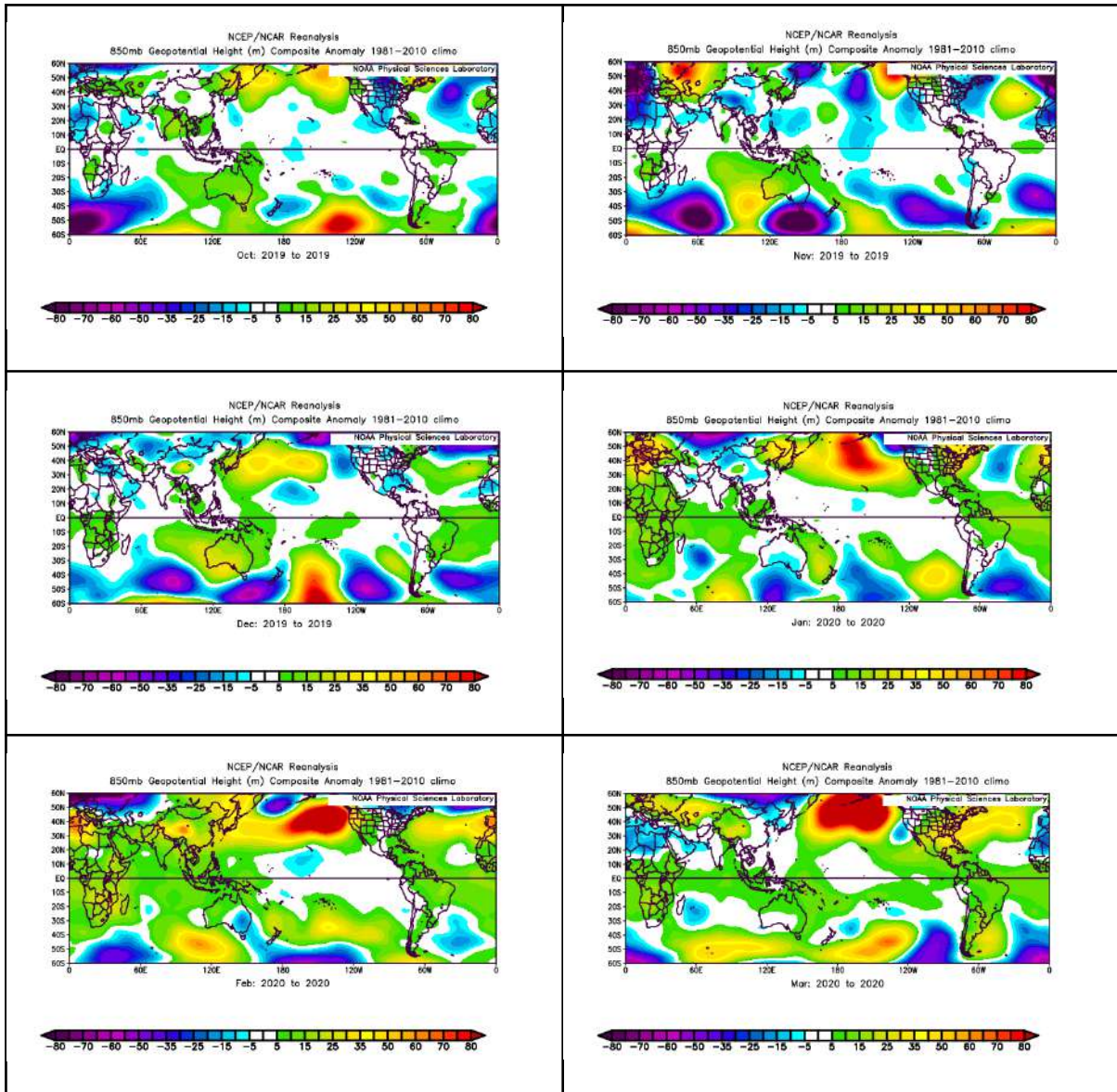
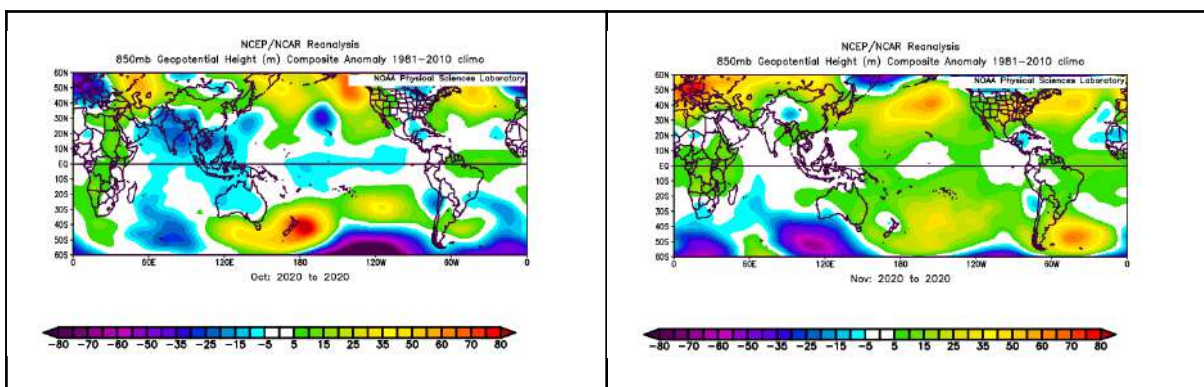


Figura A9: Anomalias médias mensais para variável de altura geopotencial em 850 mb para as estações chuvosas de 2019-2020: (a,b) outubro e novembro de 2019, (c,d) dezembro de 2019 e janeiro de 2020 e (e,f) fevereiro e março de 2020.



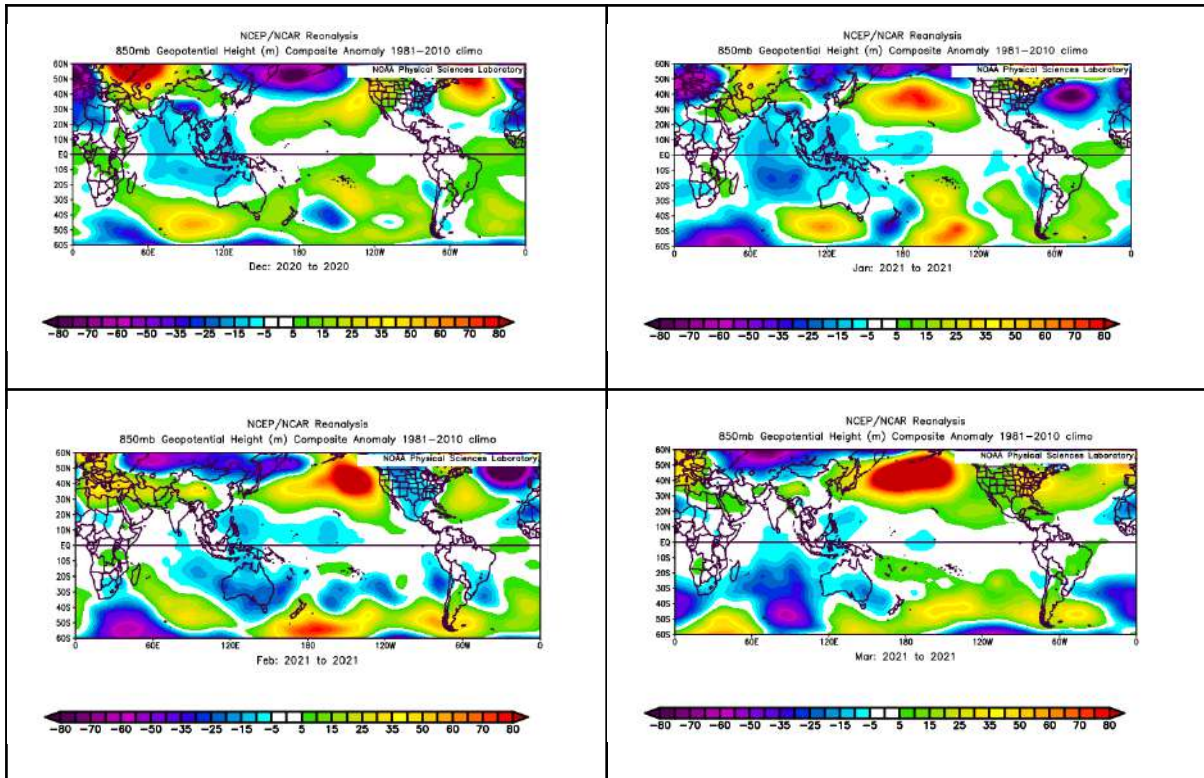
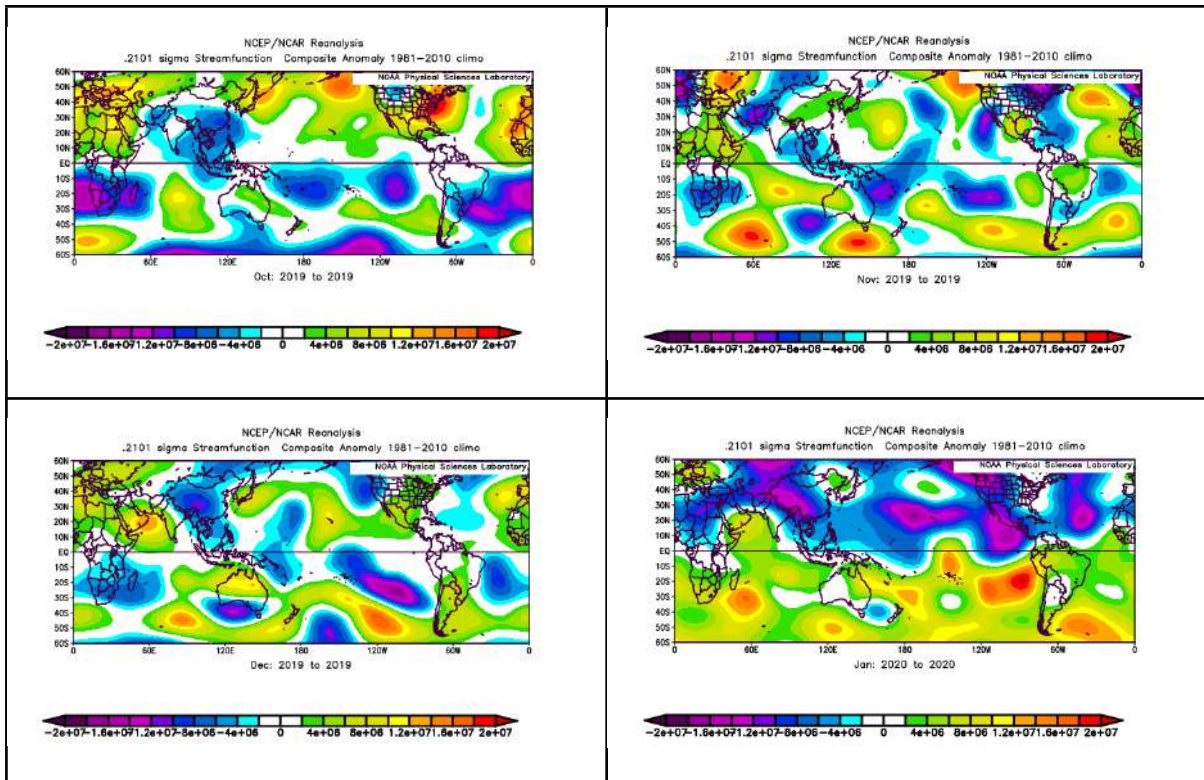


Figura A10: Anomalias médias mensais para variável de altura geopotencial em 850 mb para as estações chuvosas de 2020-2021: (a,b) outubro e novembro de 2020, (c,d) dezembro de 2020 e janeiro de 2021 e (e,f) fevereiro e março de 2021.





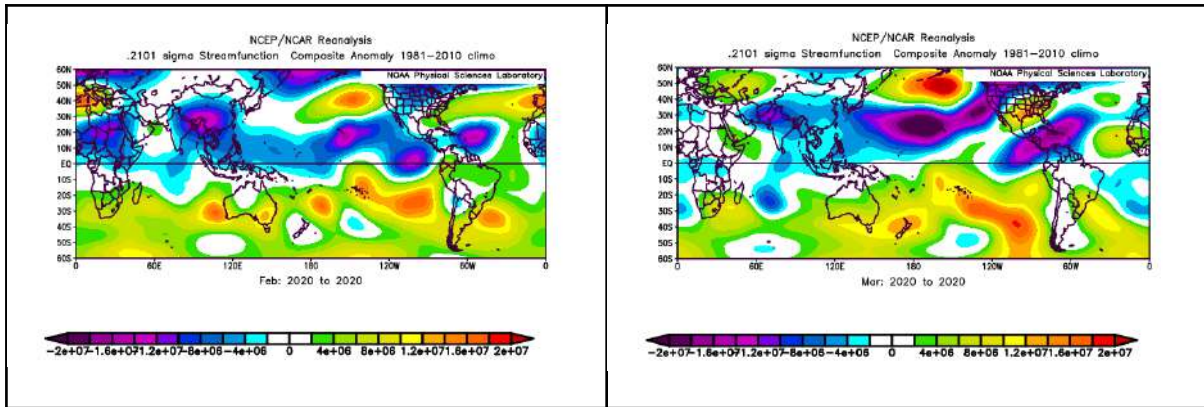


Figura A11: Anomalias médias mensais para variável de função de corrente para as estações chuvosas de 2019-2020: (a,b) outubro e novembro de 2019, (c,d) dezembro de 2019 e janeiro de 2020 e (e,f) fevereiro e março de 2020.

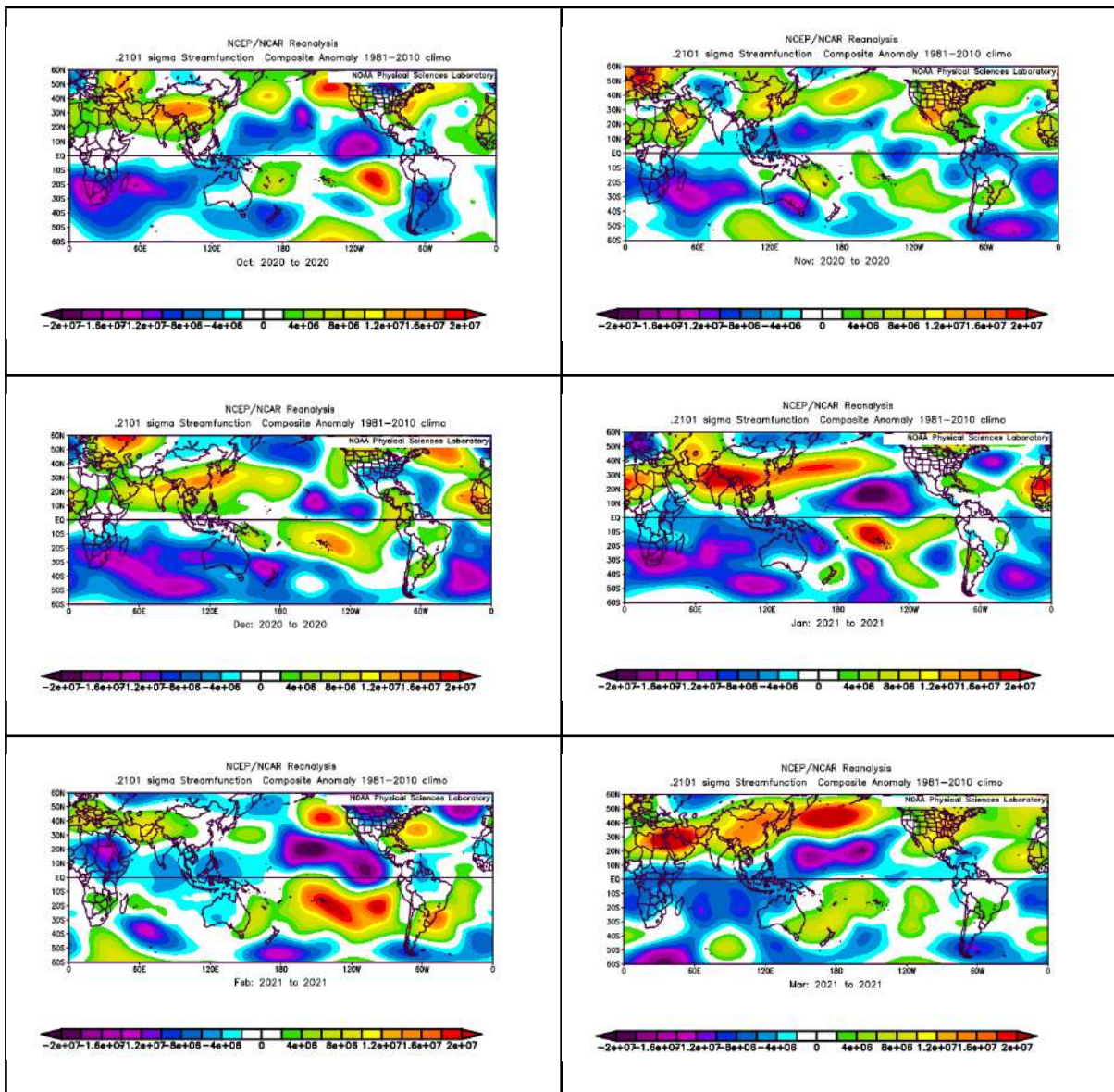




Figura A12: Anomalias médias mensais para variável de função de corrente para as estações chuvosas de 2020-2021: (a,b) outubro e novembro de 2020, (c,d) dezembro de 2020 e janeiro de 2021 e (e,f) fevereiro e março de 2021.

Anomalias médias mensais

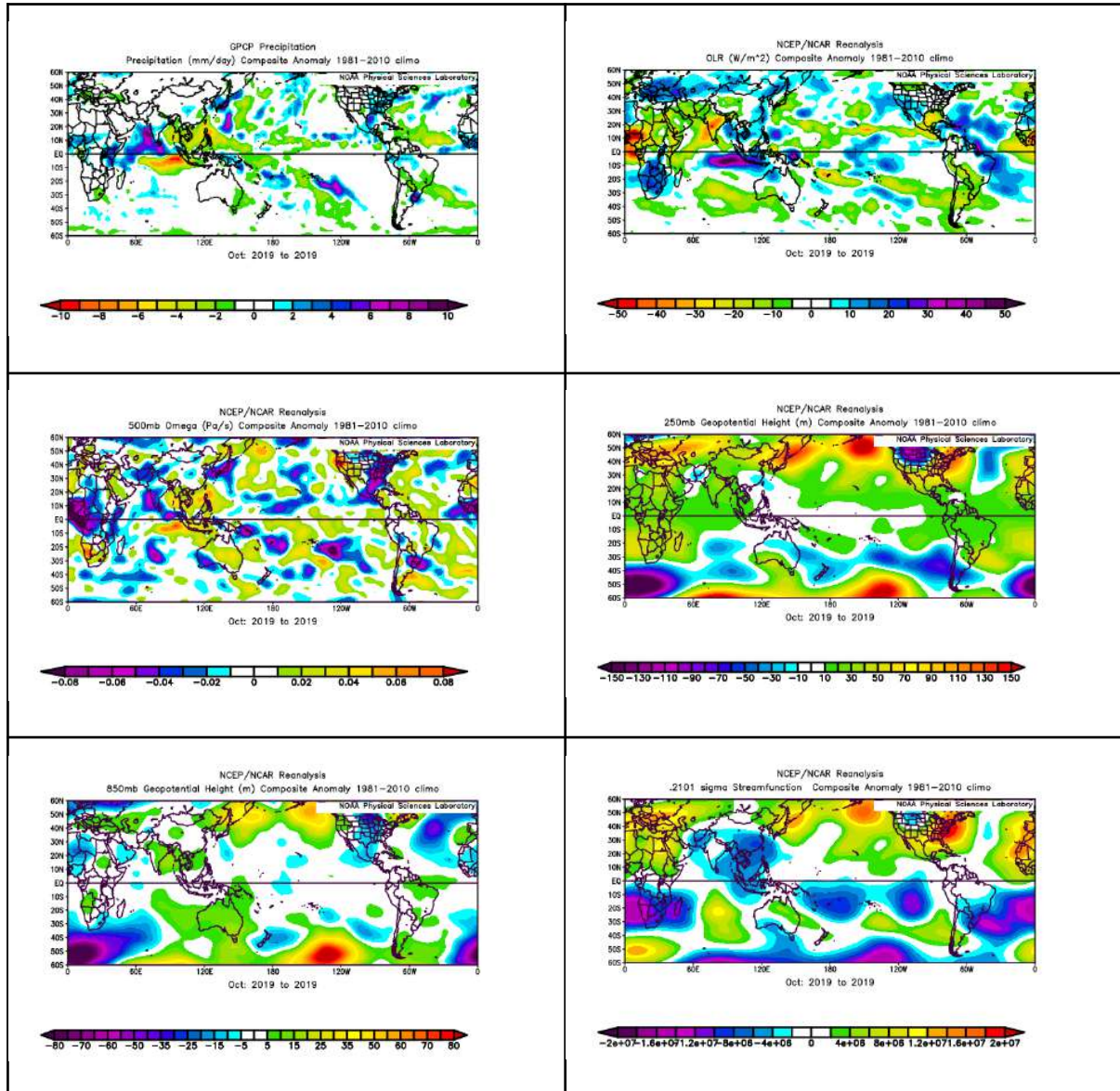


Figura A13: Anomalias médias para as estações chuvosas em outubro de 2019, para as variáveis (a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.

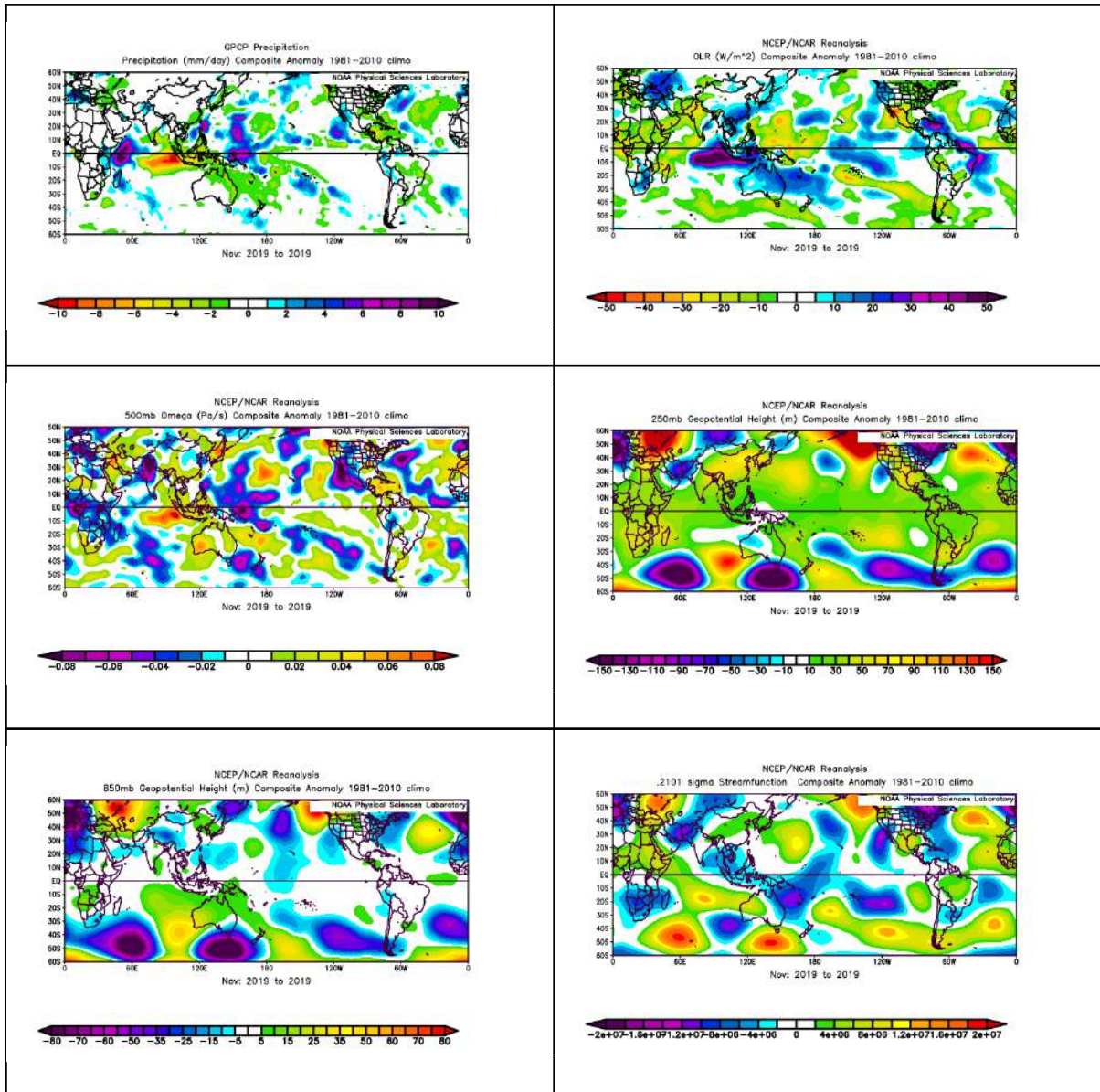
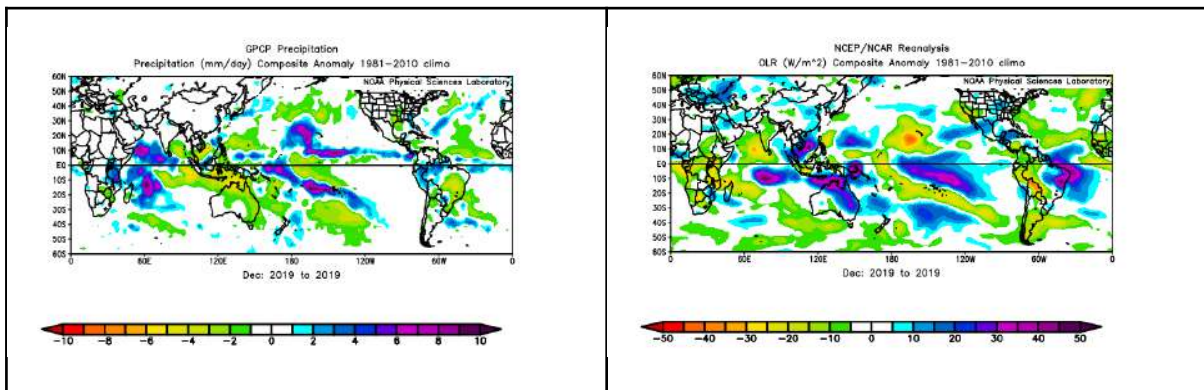


Figura A14: Anomalias médias para as estações chuvosas em novembro de 2019, para as variáveis (a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.





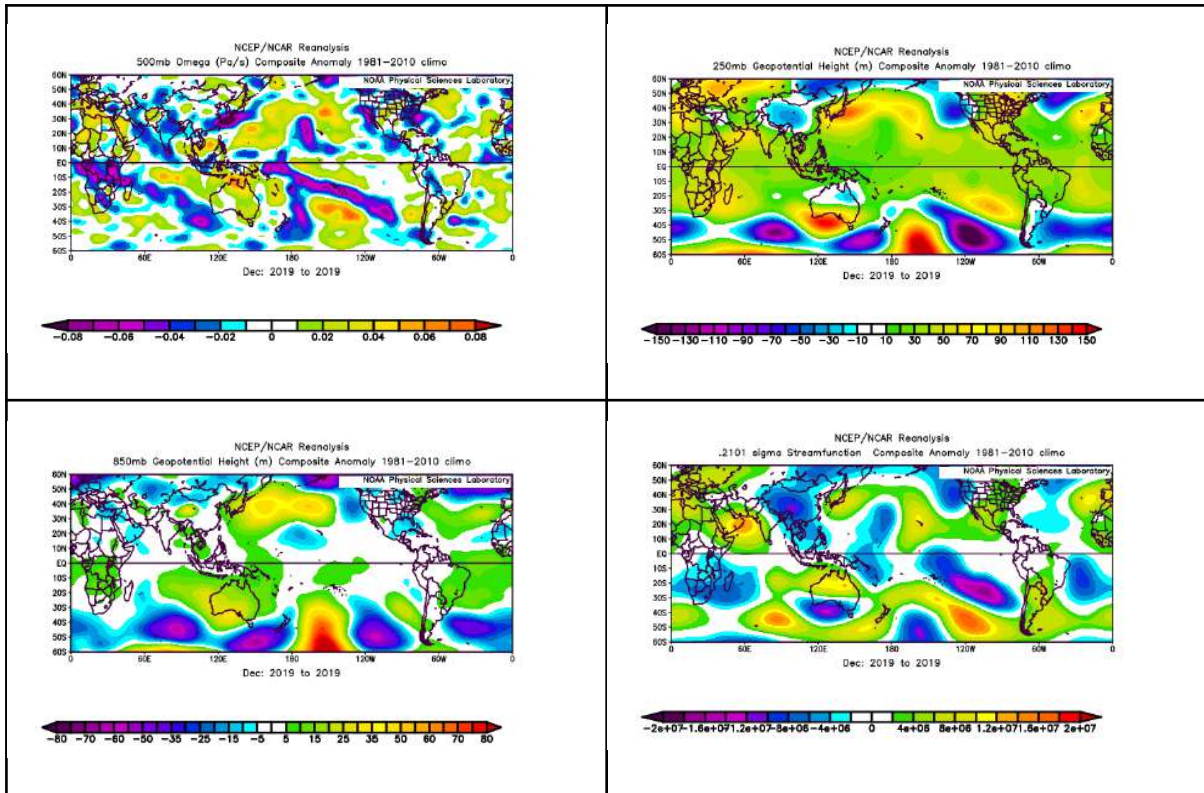
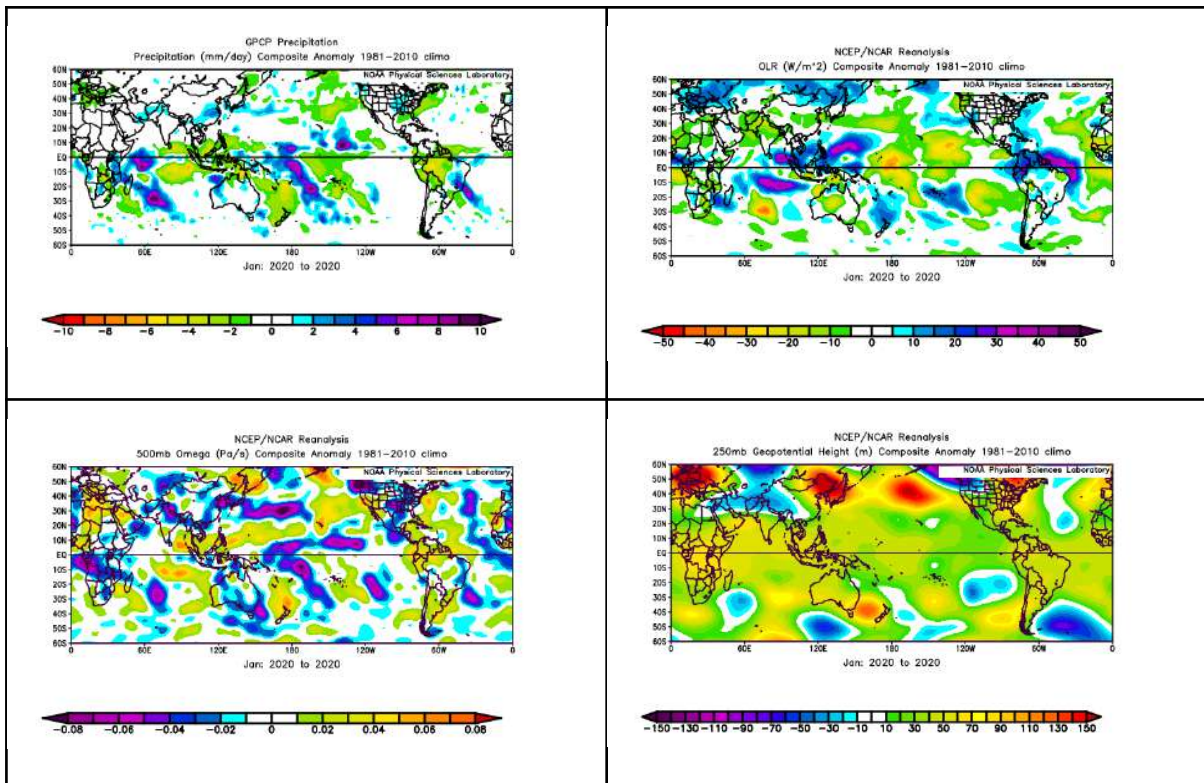


Figura A15: Anomalias médias para as estações chuvosas em dezembro de 2019, para as variáveis (a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.



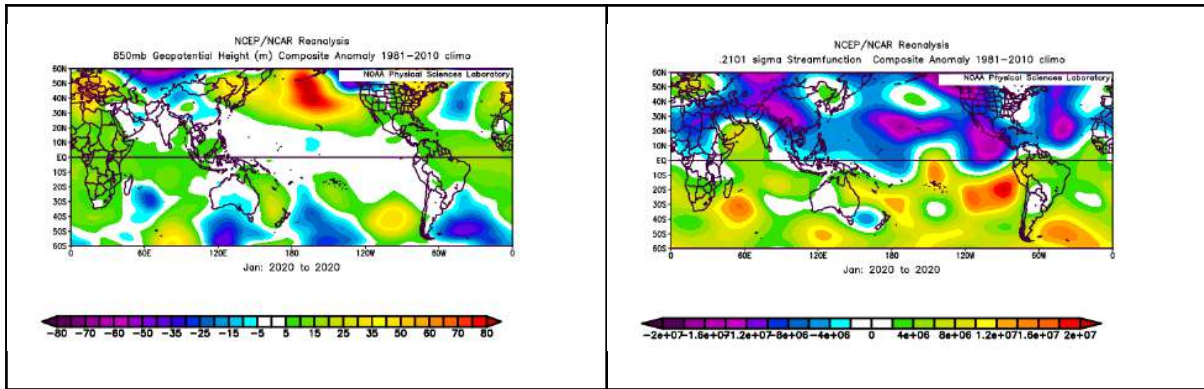


Figura A16: Anomalias médias para as estações chuvosas em janeiro de 2020, para as variáveis (a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.

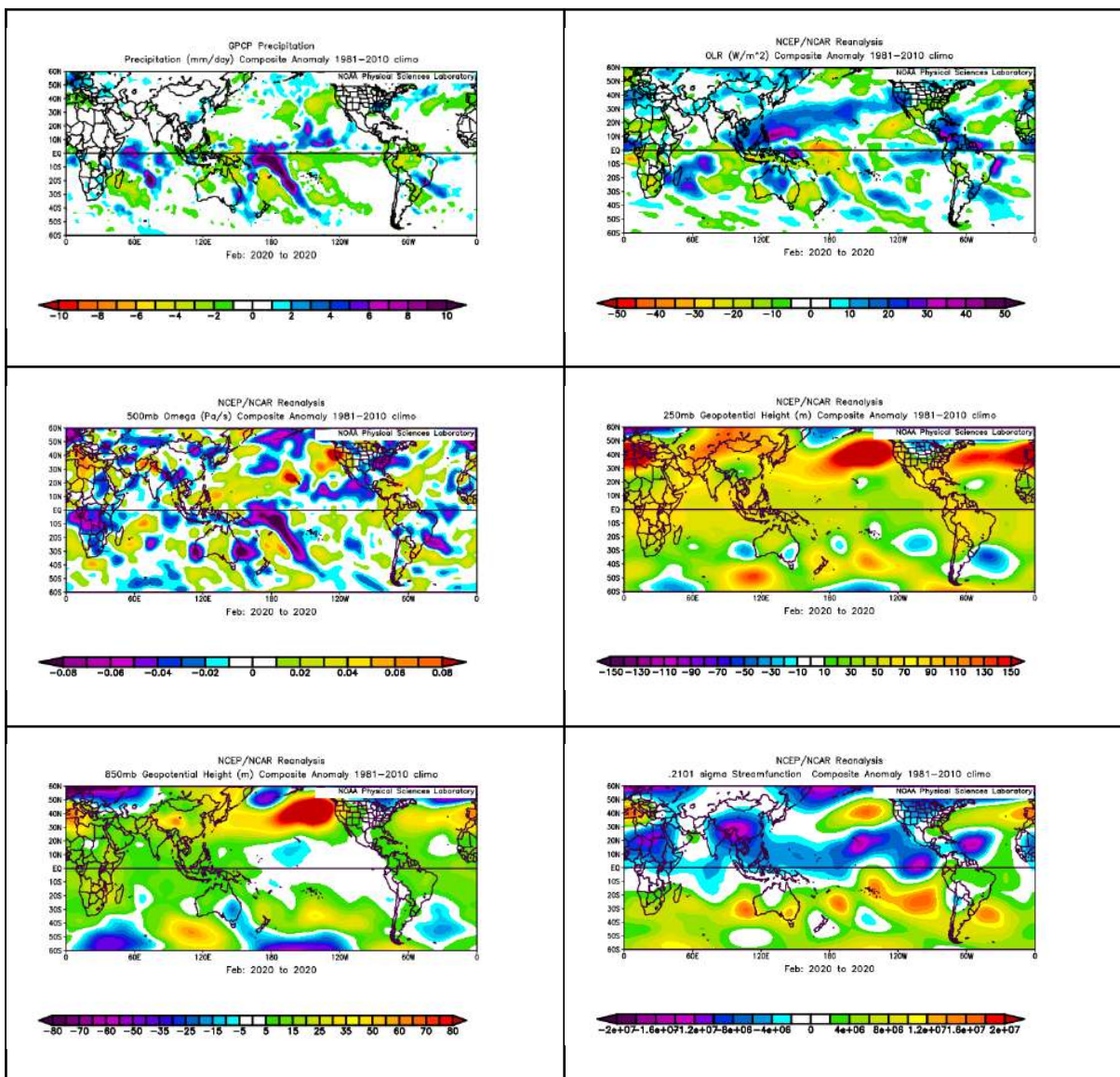


Figura A17: Anomalias médias para as estações chuvosas em fevereiro de 2020, para as



variáveis (a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.

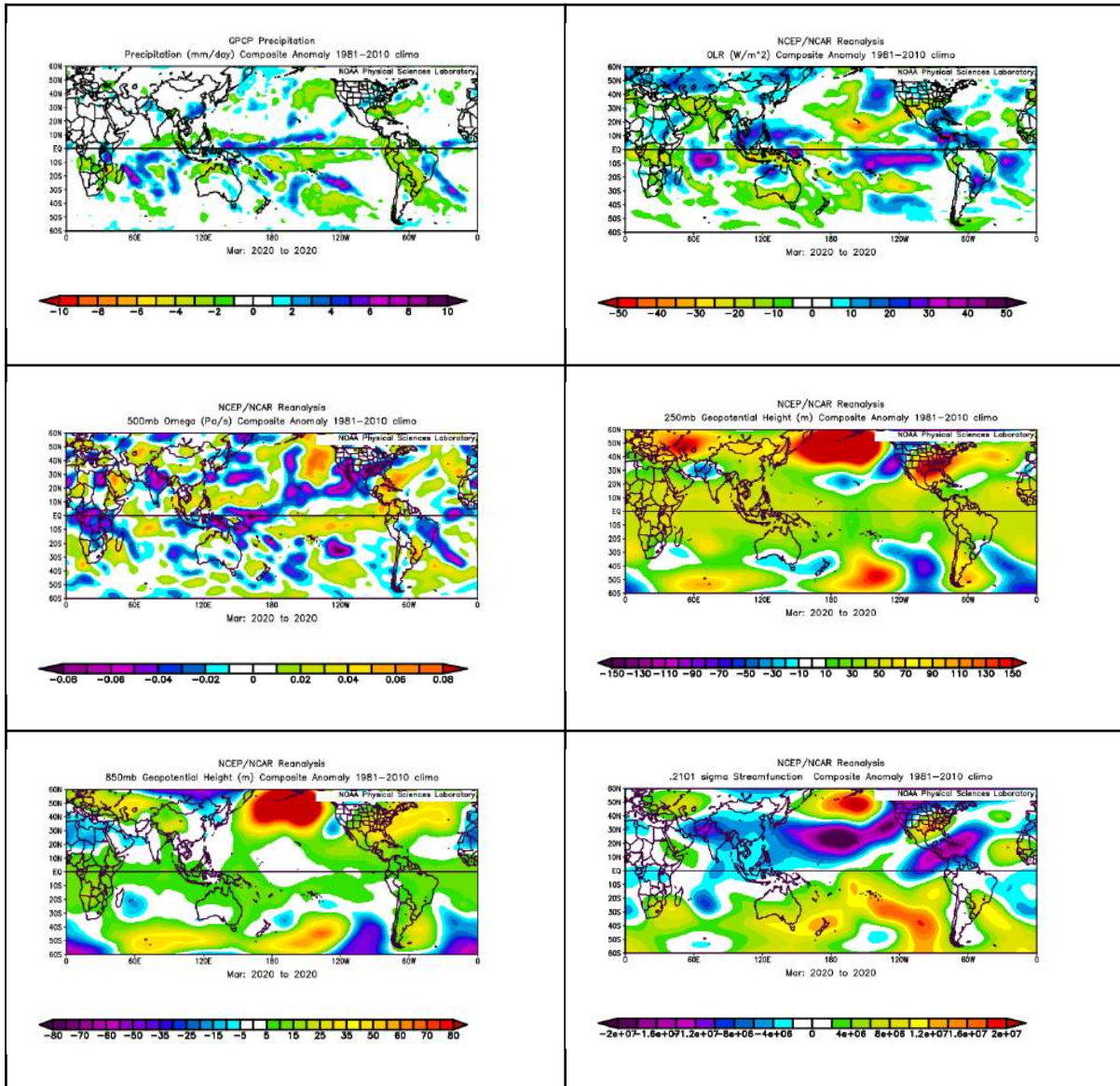


Figura A18: Anomalias médias para as estações chuvosas em março de 2020, para as variáveis (a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.



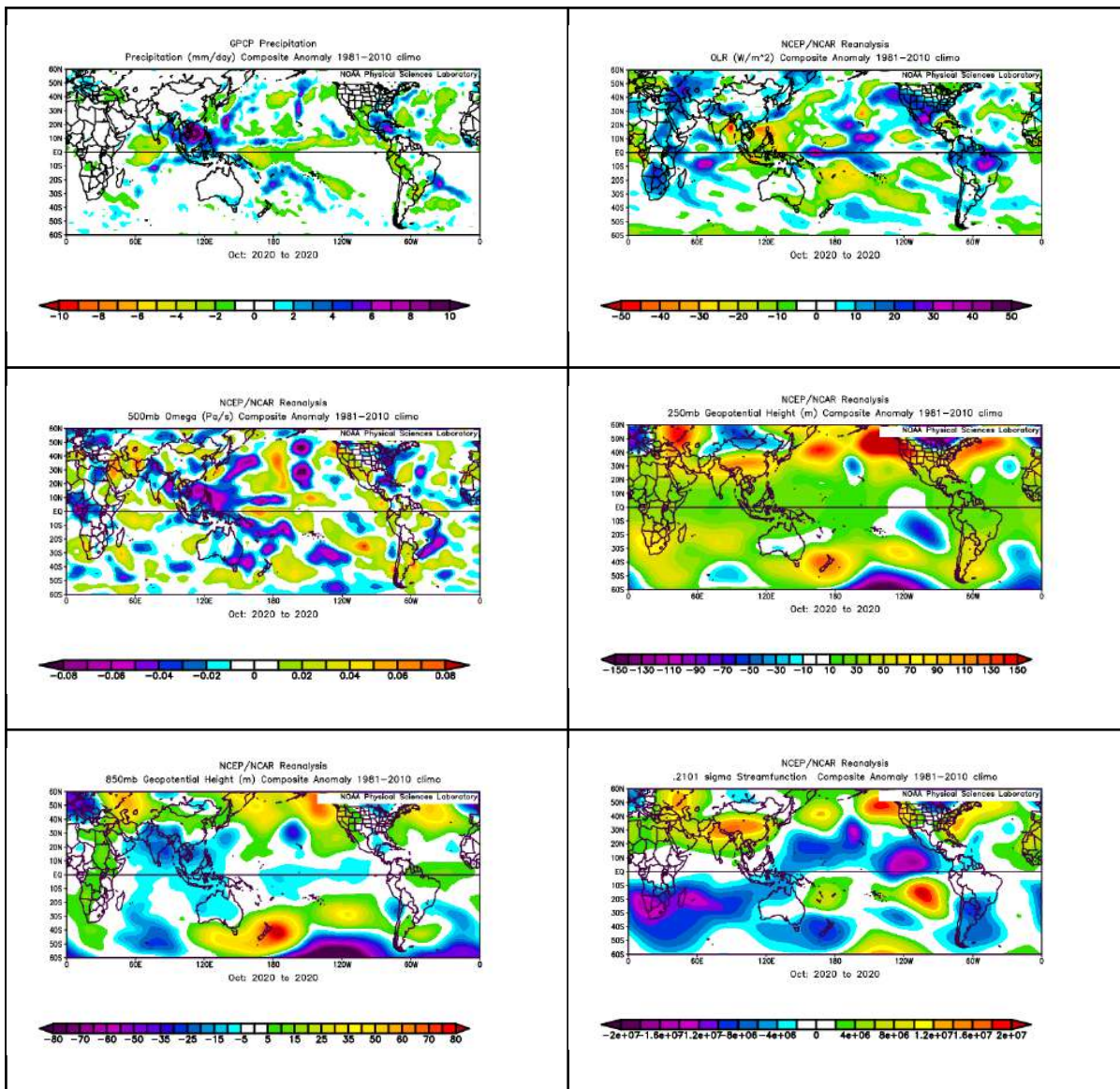
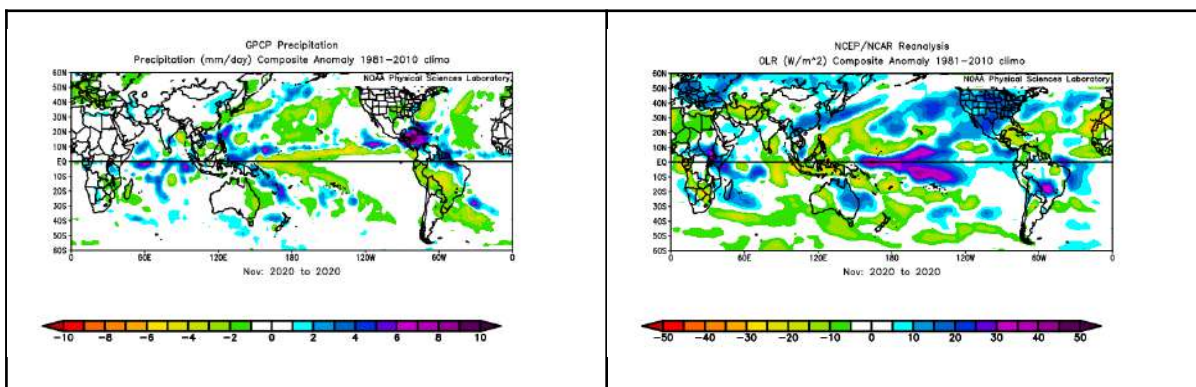


Figura A19: Anomalias médias para as estações chuvosas em outubro de 2020, para as variáveis (a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.



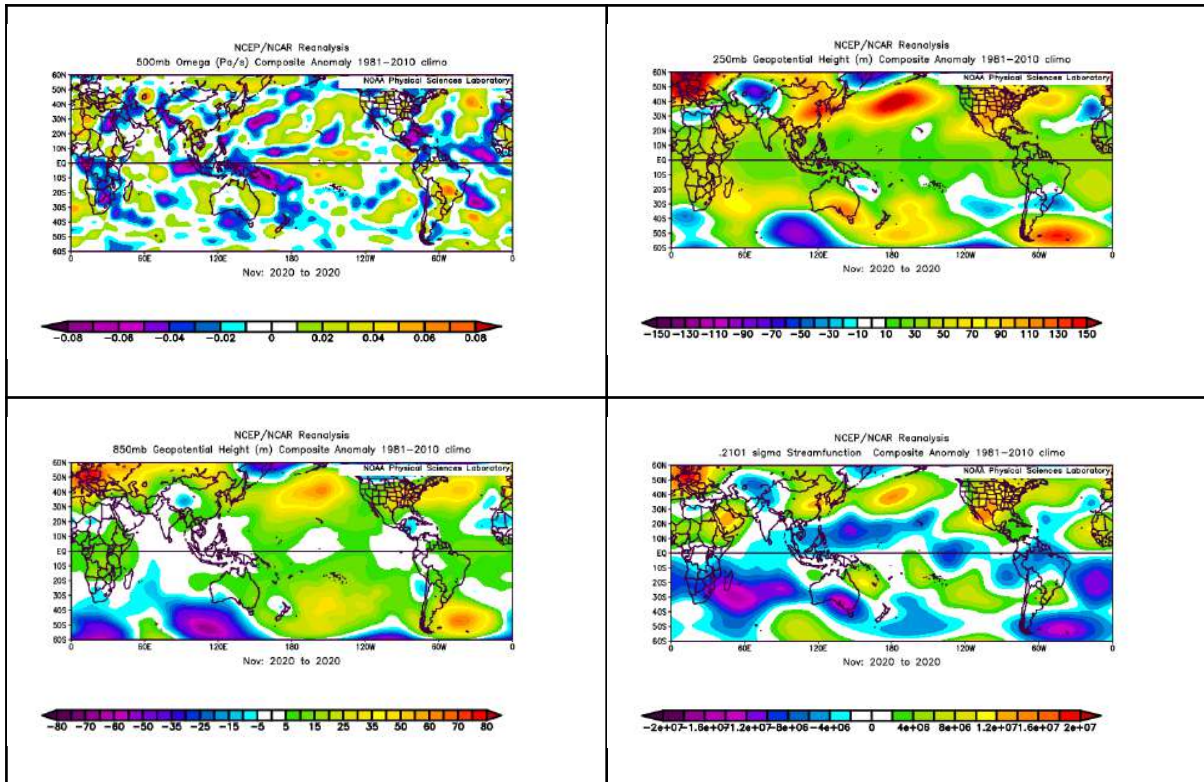
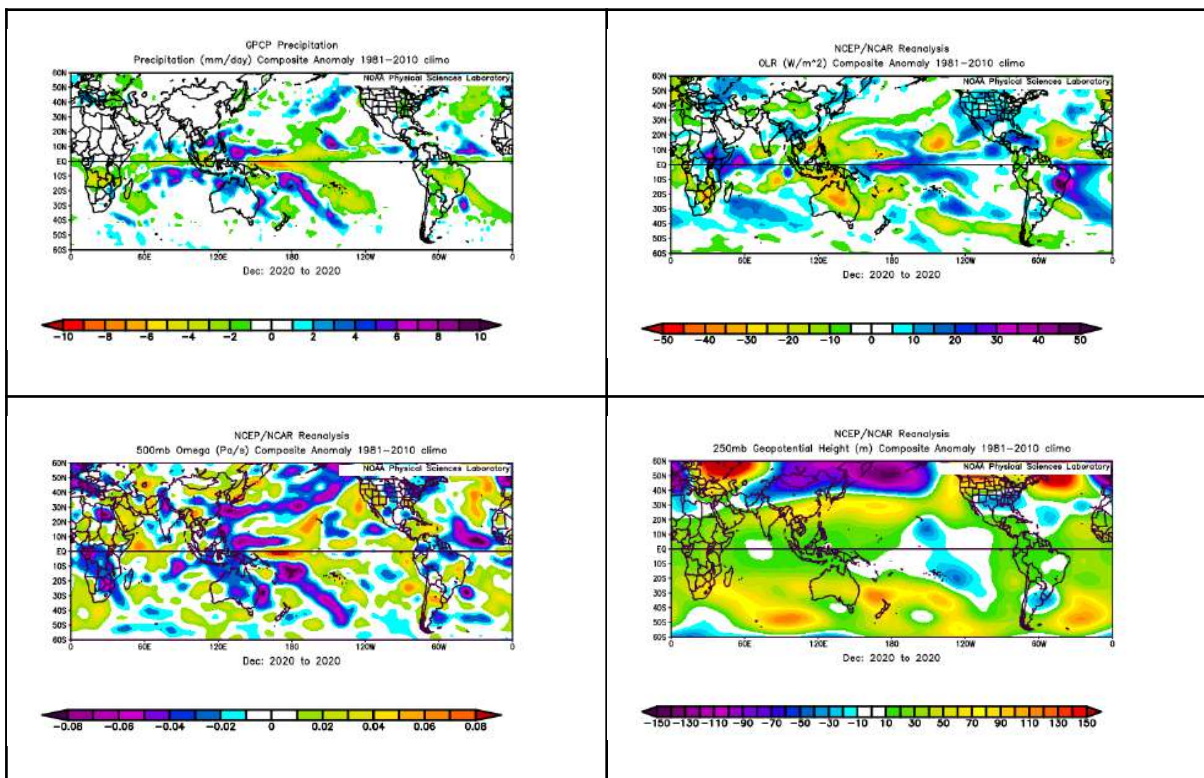


Figura A20: Anomalias médias para as estações chuvosas em novembro de 2020, para as variáveis (a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.





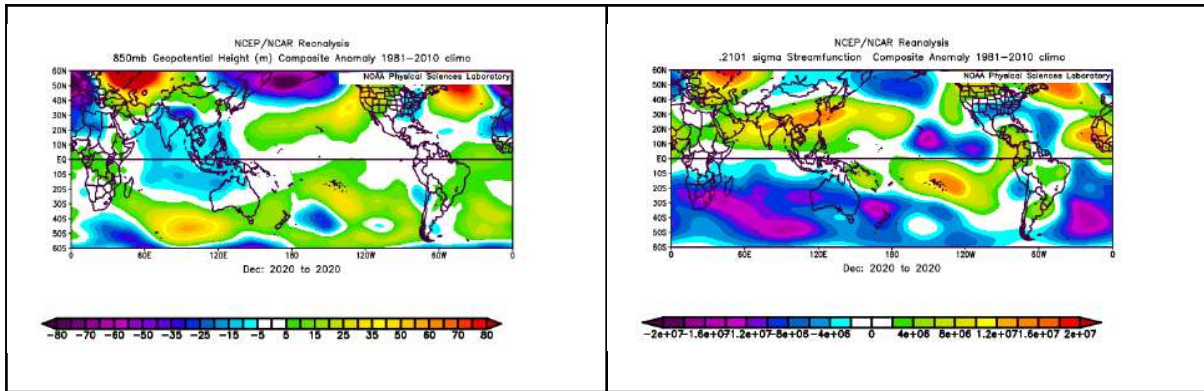


Figura A21: Anomalias médias para as estações chuvosas em dezembro de 2020, para as variáveis (a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.

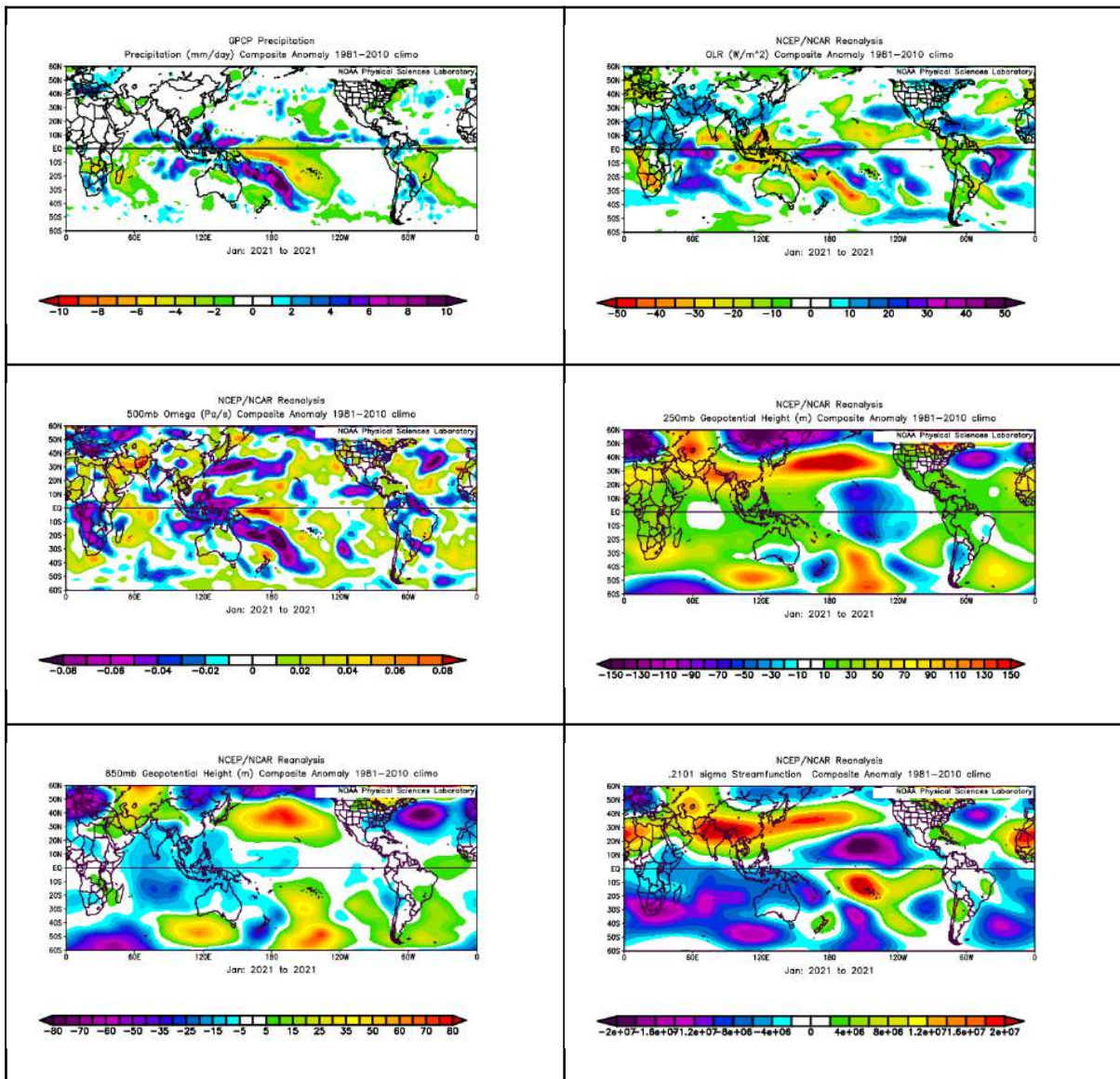


Figura A22: Anomalias médias para as estações chuvosas em janeiro de 2021, para as variáveis

(a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.

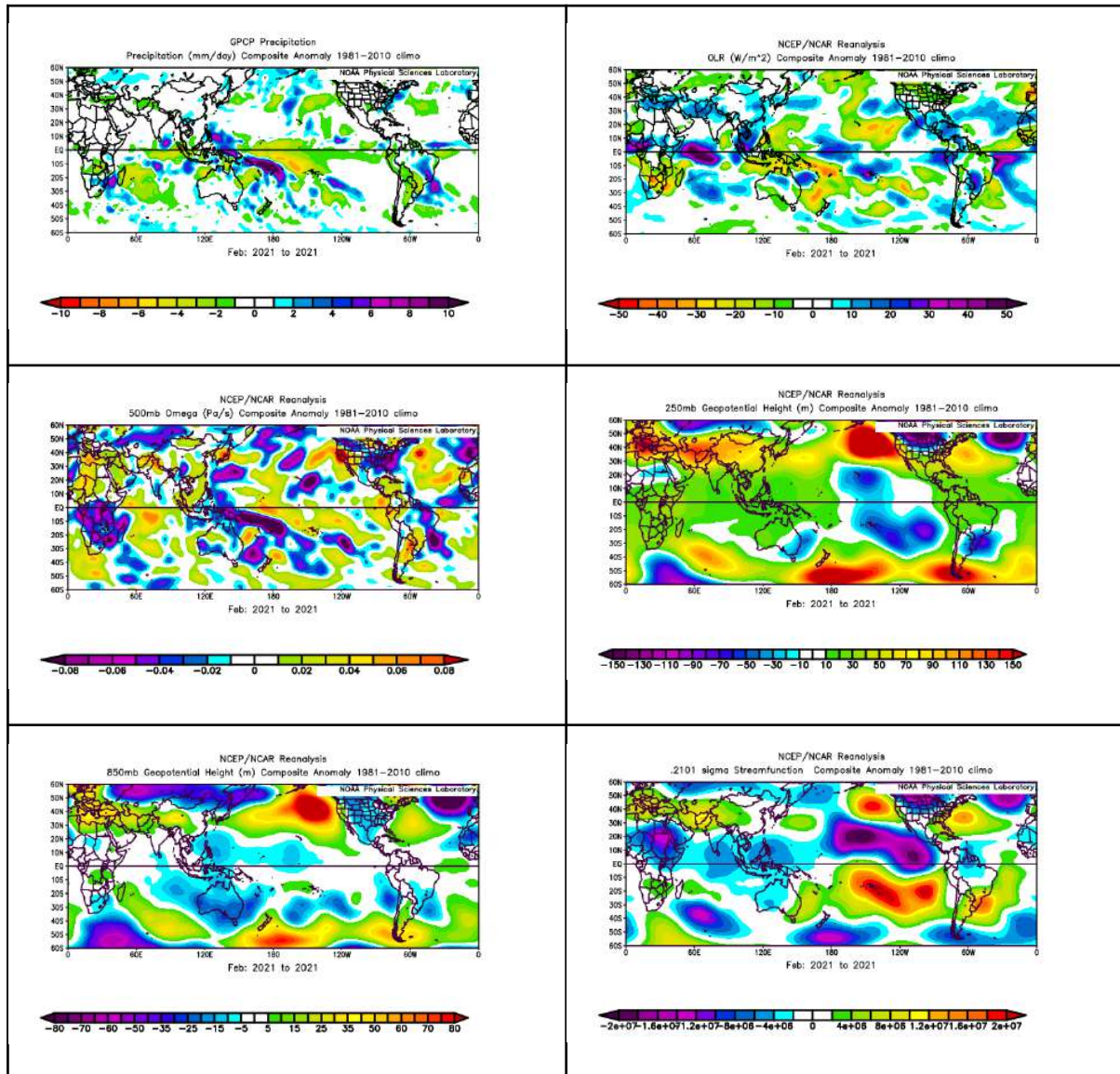


Figura A23: Anomalias médias para as estações chuvosas em fevereiro de 2021, para as variáveis (a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.



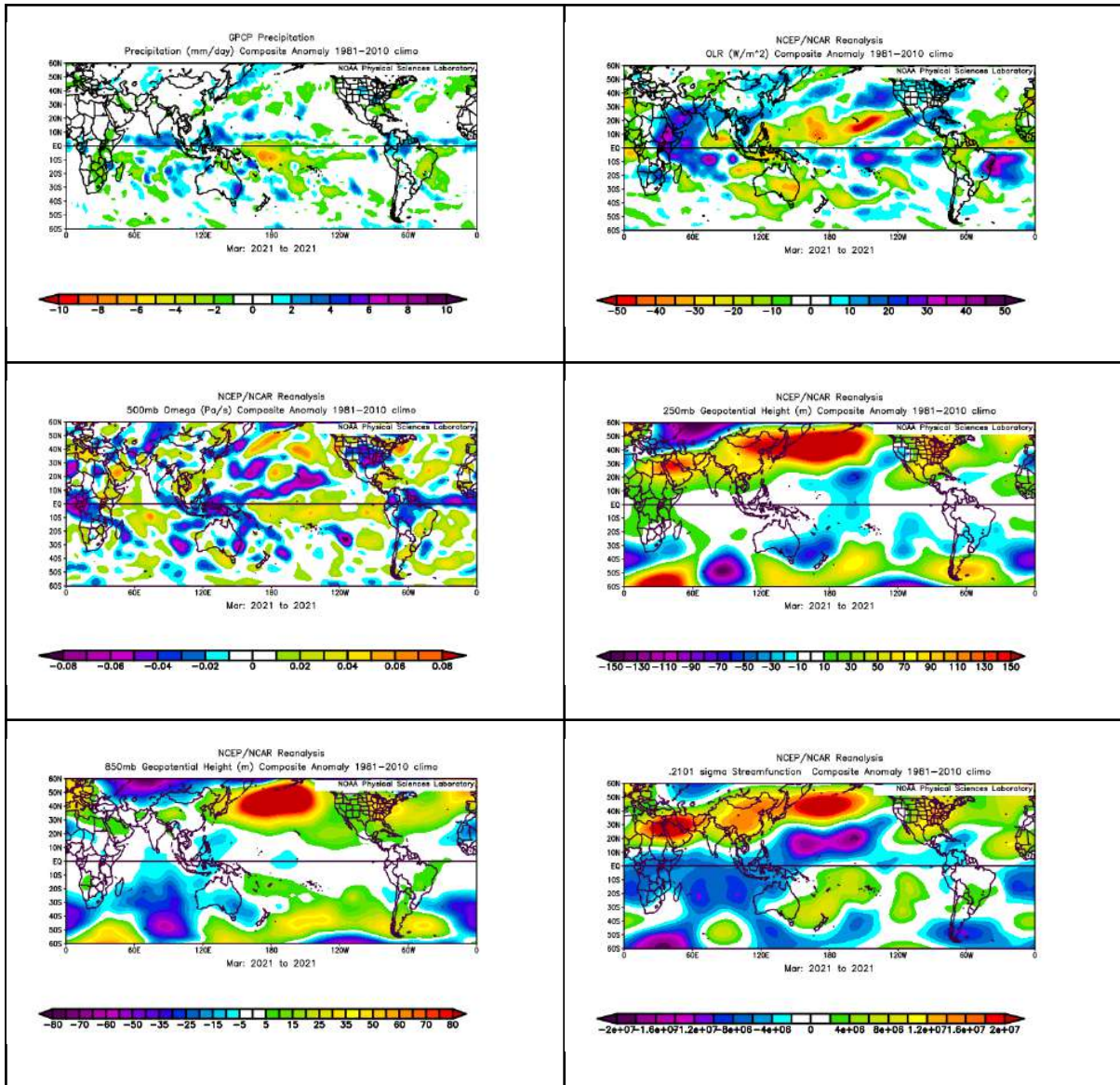


Figura A24: Anomalias médias para as estações chuvosas em março de 2021, para as variáveis (a) precipitação, (b) ROL, (c) Omega em 500 hPa, (d) altura geopotencial em 250 hPa, (e) altura geopotencial em 850 hPa e (f) função de corrente.