



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



[urlib.net/www/2022/02.09.12.17-TDI](http://urlib.net/www/2022/02.09.12.17-TDI)

**CONTRIBUIÇÃO DOS PRINCIPAIS PADRÕES DE  
TELECONEXÕES EXTRATROPICAIS DO HEMISFÉRIO  
SUL PARA A VARIABILIDADE CLIMÁTICA DA  
AMÉRICA DO SUL**

Renan Martins Pizzochero

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Meteorologia, orientada pela Dra.  
Iracema Fonseca de Albuquerque  
Cavalcanti, aprovada em 09 de  
dezembro de 2021.

URL do documento original:

<http://urlib.net/QABCDSTQQW/46B9QHP>

INPE  
São José dos Campos  
2021

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)  
Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
CEP 12.227-010  
São José dos Campos - SP - Brasil  
Tel.:(012) 3208-6923/7348  
E-mail: pubtc@inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**

**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

**Membros:**

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)  
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)  
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)  
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon  
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



[urlib.net/www/2022/02.09.12.17-TDI](http://urlib.net/www/2022/02.09.12.17-TDI)

**CONTRIBUIÇÃO DOS PRINCIPAIS PADRÕES DE  
TELECONEXÕES EXTRATROPICAIS DO HEMISFÉRIO  
SUL PARA A VARIABILIDADE CLIMÁTICA DA  
AMÉRICA DO SUL**

Renan Martins Pizzochero

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Meteorologia, orientada pela Dra.  
Iracema Fonseca de Albuquerque  
Cavalcanti, aprovada em 09 de  
dezembro de 2021.

URL do documento original:

<http://urlib.net/QABCDSTQQW/46B9QHP>

INPE  
São José dos Campos  
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Pizzochero, Renan Martins.

P689c Contribuição dos principais padrões de teleconexões extratropicais do Hemisfério Sul para a variabilidade climática da América do Sul / Renan Martins Pizzochero. – São José dos Campos : INPE, 2021.

xxvii + 131 p. ; (urlib.net/www/2022/02.09.12.17-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2021.

Orientadora : Dra. Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti.

1. Teleconexão. 2. Trem de onda. 3. PAS. 4. MAS. 5. Variabilidade climática. I.Título.

CDU 551.583.1(8)

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**  
Serviço de Pós-Graduação - SEPGR

**DEFESA FINAL DE DISSERTAÇÃO DE RENAN MARTINS PIZZOCHERO**  
**BANCA Nº 321/2021, REG 335759/2019**

No dia 09 de dezembro de 2021, às 14h00min, por teleconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestre em Meteorologia. O trabalho precisa da incorporação das correções sugeridas pela Banca e revisão final pelo(s) orientador(es).

**Título: “Contribuição dos principais padrões de teleconexões extratropicais do Hemisfério Sul para a variabilidade climática da América do Sul”**

**Membros da Banca:**

Dr. Caio Augusto dos Santos Coelho - Presidente - INPE  
Dra. Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti - Orientadora - INPE  
Dra. Fernanda Cerqueira Vasconcellos - Membro Externo - UFRJ



Documento assinado eletronicamente por **Caio Augusto dos Santos Coelho, Pesquisador**, em 10/12/2021, às 08:39 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Iracema Fonseca de albuquerque cavalcanti (E), Usuário Externo**, em 10/12/2021, às 09:34 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Cerqueira Vasconcellos (E), Usuário Externo**, em 10/12/2021, às 13:01 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://sei.mctic.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **8783137** e o código CRC **7D25D6EF**.



*“Eu faço da dificuldade a minha motivação. A volta por cima vem na continuação.”*

*Charlie Brown Jr*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha amada, Iara, por estar ao meu lado todo o tempo, dando ânimo a mim nos momentos mais difíceis dessa jornada; elevando minha autoestima a todo momento dizendo sempre acreditar em mim, mesmo quando nem eu mesmo mais acreditava que daria conta. Obrigado meu amor, te amo!

Agradeço à minha mãe, minha avó, meu avô, meus tios e sogros, por me darem todo auxílio que sempre precisei para caminhar nessa jornada árdua da vida, me dando carinho, atenção e nos momentos necessários, me fazendo relaxar um pouco, amo vocês!

A minha pequena “doguinha” Agnes, por sempre me receber com seu carinho e ânimo todos os dias em casa.

Agradeço às minhas grandes amigas Fernanda Vasconcellos, Renata Tedeschi, pelo ombro amigo da vivência da pós, por sempre acreditarem, e mesmo que eu não seja bom como dizem, sempre acreditarem no meu potencial. Vocês são fundamentais na minha vida.

Ao meu amigo e instrutor de programação Marcelo Guatura, que sempre se mostrou disponível para sanar as dúvidas que apareciam com os códigos. Você me inspira a melhorar sempre!

Em memória da minha amiga Renata Calado, que na época de Cachoeira Paulista, era a companheira de todas as horas, com seu jeito irreverente. Que onde você estiver, esse recado chegue a você.

A minha terapeuta, por me ajudar a ter o máximo possível de autocontrole.

Ao INPE pela oportunidade de aprender e evoluir na minha carreira.

Por último, mas não menos importante, a minha Orientadora Iracema F.A. Cavalcanti, por entender minhas dificuldades e estar sempre disposta ao diálogo e a ensinar uma pequena do seu conhecimento. Obrigado por tudo, e me perdoe pelas dificuldades.

Todos foram importantes para chegar até aqui!



## RESUMO

Variabilidade climática indica variações no estado médio do clima em várias escalas temporais, tais como subsazonal (10 a 30 dias), intrassazonal (30 a 90 dias), sazonal (entre estações), interanual (entre anos), multidecenal (entre décadas). As teleconexões indicam relações climáticas entre lugares distantes, sendo responsáveis por algumas variabilidades no sistema terrestre, tanto no Hemisfério Norte (HN) quanto no HS (HS). Os Modos Anulares são os principais modos de variabilidade climática da região extratropical, atuando em ambos os hemisférios. Eles descrevem uma anomalia no campo de pressão, entre regiões de latitudes médias e latitudes polares, indicando um padrão "gangorra" Norte-Sul de massa atmosférica. No HS é chamado de Modo Anular Sul (MAS). O padrão Pacífico América do Sul (PAS) é um trem de onda de baixa frequência que se estende do Pacífico Sul até a América do Sul (AS). Entender a relação entre padrões de teleconexão que afetam a AS é de grande importância para compreender a variabilidade e a dinâmica do clima nesse continente. Para esse estudo, foram utilizadas saídas diárias da Reanálise ERA-Interim, dados de Radiação de Onda Longa Emergente (ROL) do *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) e dados diários de precipitação do *Climate Prediction Center/National Oceanic and Atmospheric Administration* (CPC/NOAA). Anomalias diárias para cada variável foram calculadas, usando a climatologia de 1981 a 2010. As anomalias foram filtradas utilizando o filtro de Lanczos nas bandas de 10 a 30 e 45 a 90 dias. O método de Funções Ortogonais Empíricas foi aplicado ao geopotencial em 700 hPa e 200 hPa para obter os modos de variabilidade e as respectivas séries das amplitudes nas duas escalas temporais. Foram selecionados os extremos positivos e negativos de cada modo das séries das amplitudes de altura geopotencial em 700 hPa e altura geopotencial em 200 hPa para as duas bandas de variabilidade. Compostos de variáveis atmosféricas foram calculados visando entender a relação entre as teleconexões e a variabilidade das variáveis atmosféricas. Foram obtidas as configurações atmosféricas em casos de máximas amplitudes das principais teleconexões extratropicais do HS em duas bandas de variabilidade, com o entendimento da interação entre os modos (centros de ação comuns e intensidade das correntes de jato). As duas escalas de variabilidade apresentaram configurações distintas com relação aos centros de ação, embora o padrão dominante tenha sido o MAS e os outros dois modos representarem trens de onda de Rossby. Na variabilidade subsazonal, o centro mais intenso nas latitudes médias do modo anular se localiza sobre o Oceano Pacífico, enquanto na variabilidade intrassazonal, sobre o Oceano Índico. Na escala subsazonal, os trens de onda são zonais, enquanto na escala intrassazonal apresenta o padrão típico do PAS. Compostos de casos com amplitudes extremas dos modos indicaram características opostas nas fases opostas dos modos nos campos de anomalias de geopotencial, ROL e precipitação sobre a AS. Nos compostos dos dois modos verificou-se que a presença do MAS intensifica a influência dos trens de onda sobre a AS, com impactos nas anomalias de precipitação.

Palavras-chave: Teleconexão, Trem de Onda, PAS, MAS, Variabilidade Climática

# **CONTRIBUTION OF THE MAIN EXTRATROPICAL TELECONNECTIONS PATTERNS OF THE SOUTHERN HEMISPHERE TO THE CLIMATE VARIABILITY IN SOUTH AMERICA**

## **ABSTRACT**

Climate variability indicates variations in the mean climate state at various time scales, such as subseasonal (10 to 30 days), intraseasonal (30 to 90 days), seasonal (between seasons), interannual (between years), multidecadal (between decades). Teleconnections indicate climatic relationships between distant places, being responsible for variabilities in the terrestrial system, both in the Northern Hemisphere (NH) and in the Southern Hemisphere (SH). The Annular Modes are the main modes of climate variability in the extratropical region, acting in both hemispheres. They describe an anomaly in the pressure field, between regions of mid-latitudes and polar latitudes, indicating a North-South "see-saw" pattern of atmospheric mass. In the SH it is called Southern Annular Mode (SAM). The Pacific South America (PSA) is a low-frequency wave train that extends from the South Pacific to South America (SA). Understanding the relationship between teleconnection patterns that affect SA is of great importance to understand the variability and dynamics of climate on this continent. For this study, daily outputs from the ERA-Interim Reanalysis, Outgoing Longwave Radiation (OLR) data from the National Center for Atmospheric Research (NCAR) and daily precipitation data from the Climate Prediction Center/National Oceanic and Atmospheric Administration (CPC)/NOAA were used. Daily anomalies for each variable were calculated using the climatology from 1981 to 2010. Anomalies were filtered using the Lanczos filter in the bands from 10 to 30 and 45 to 90 days. The method of Empirical Orthogonal Functions was applied to the geopotential at 700 hPa and 200 hPa to obtain the modes of variability and the respective series of amplitudes on the two time scales. The positive and negative extremes for each mode of the amplitudes of geopotential height at 700 hPa and geopotential height at 200 hPa series were selected for the two variability bands. Composites of atmospheric variables were calculated in order to understand the relationship between teleconnections and the variability of atmospheric variables. Atmospheric configurations were obtained in cases of maximum amplitudes of the main extratropical HS teleconnections in two variability bands, with the understanding of the interaction between the modes (common action centers and jet stream intensity). The two variability scales presented different configurations regarding the action centers, although the dominant pattern was the SAM and the other two modes represented Rossby wave trains. In the subseasonal variability, the most intense center in the middle latitudes of the annular mode is located over the Pacific Ocean, while in the intraseasonal variability, over the Indian Ocean. In the sub-seasonal scale, the wave trains are zonal, while in the intra-seasonal scale, it presents the typical pattern of the PSA. Composites of cases with extreme amplitudes of the modes indicated opposite characteristics in the opposite phases of the modes in the fields of geopotential anomalies, OLR and precipitation over SA. In the composites of the two modes, it was verified that the

presence of the SAM intensifies the influence of the wave trains on SA, with impacts on the precipitation anomalies.

Keywords: Teleconnection, Wave Train, PSA, SAM, Climate Variability

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

<b>Figura 5.1</b> Padrões para DJF. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 10 a 30 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão espacial MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 2. Ambas para DJF.....	21
<b>Figura 5.2.</b> Padrões para MAM. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 10 a 30 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão espacial MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 2. Ambas para MAM. ....	23
<b>Figura 5.3</b> Padrões para JJA. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 10 a 30 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão espacial MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 2. Ambas para JJA. ....	24
<b>Figura 5.4.</b> Padrões para SON. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 10 a 30 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 2. Ambas para SON. ....	25
<b>Figura 5.5.</b> Padrões para DJF. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 45 a 90 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 2.....	27
<b>Figura 5.6.</b> Padrões para MAM. A) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 45 a 90 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão MAS; (B) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 1; (C) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 2.....	28
<b>Figura 5.7</b> Padrões para JJA. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 45 a 90 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 2.....	29
<b>Figura 5.8.</b> Padrões para SON. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 45 a 90 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 2.....	30
<b>Figura 5.9.</b> Composto de anomalia de Altura Geopotencial, ROL e Precipitação TO1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de	

Precipitação. Pontilhados Teste de significância t-student, com 99% de significância.....	35
<b>Figura 5.10.</b> Compostos em DJF para TO2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	37
<b>Figura 5.11.</b> Compostos em DJF para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	39
<b>Figura 5.12.</b> Composto de anomalia do vento Zonal (m/s) em 200hPa para DJF. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	40
<b>Figura 5.13.</b> Compostos em DJF para casos simultâneos positivos e negativos de TO1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	41
<b>Figura 5.14.</b> Compostos em DJF para casos simultâneos em fases opostas de TO1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	43
<b>Figura 5.15.</b> Compostos em DJF para casos simultâneos positivos e negativos de TO2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	45
<b>Figura 5.16.</b> Compostos em DJF para casos simultâneos em fases opostas de TO2 e MAS Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.....	46
<b>Figura 5.17.</b> Compostos em MAM para TO1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	48
<b>Figura 5.18.</b> Compostos em MAM para TO2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	50
<b>Figura 5.19.</b> Compostos em MAM para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D	

composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância .....	52
<b>Figura 5.20.</b> Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para MAM. .	53
<b>Figura 5.21.</b> Compostos em MAM para casos simultâneos em fases opostas de TO1 e MAS Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.....	54
<b>Figura 5.22.</b> Compostos em MAM para casos simultâneos positivos e negativos de TO2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	56
<b>Figura 5.23.</b> Compostos em MAM para casos simultâneos em fases opostas de TO2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	58
<b>Figura 5.24.</b> Compostos em JJA para TO1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	60
<b>Figura 5.25.</b> Compostos em JJA para TO2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	62
<b>Figura 5.26.</b> Compostos em JJA para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	64
<b>Figura 5.27.</b> Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para JJA.....	65
<b>Figura 5.28.</b> Compostos em JJA para casos simultâneos em fases opostas de TO1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.....	66
<b>Figura 5.29.</b> Compostos em JJA para casos simultâneos positivos e negativos de TO2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	68

<b>Figura 5.30.</b> Compostos em JJA para casos simultâneos em fases opostas de TO2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.....	70
<b>Figura 5.31.</b> Compostos em SON para TO1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	72
<b>Figura 5.32.</b> Compostos em SON para TO2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.....	74
<b>Figura 5.33.</b> Compostos em SON para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.....	76
<b>Figura 5.34.</b> Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para SON...	77
<b>Figura 5.35.</b> Compostos em SON para casos simultâneos positivos e negativos de TO1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	78
<b>Figura 5.36.</b> Compostos em SON para casos simultâneos positivos e negativos de TO2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	80
<b>Figura 5.37.</b> Compostos em SON para casos simultâneos em fases opostas de TO2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.....	82
<b>Figura 5.38.</b> Compostos em DJF para PAS1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	85
<b>Figura 5.39.</b> Compostos em DJF para PAS2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.....	87

<b>Figura 5.40.</b> Compostos em DJF para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	89
<b>Figura 5.41.</b> Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para DJF. ...	90
<b>Figura 5.42.</b> Compostos em DJF para casos simultâneos positivos e negativos de PAS1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	91
<b>Figura 5.43.</b> Compostos em DJF para casos simultâneos positivos e negativos de PAS2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	93
<b>Figura 5.44.</b> Compostos em DJF para casos simultâneos em fases opostas de PAS2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	95
<b>Figura 5.45.</b> Compostos em MAM para PAS1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	97
<b>Figura 5.46.</b> Compostos em MAM para PAS2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	99
<b>Figura 5.47.</b> Compostos em MAM para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	101
<b>Figura 5.48.</b> Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para MAM.	102
<b>Figura 5.49.</b> Compostos em MAM para casos simultâneos em fases opostas de PAS1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.....	103
<b>Figura 5.50.</b> Compostos em MAM para casos simultâneos em fases opostas de PAS2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F	

composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	105
<b>Figura 5.51.</b> Compostos em JJA para PAS1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	107
<b>Figura 5.52.</b> Compostos em JJA para PAS2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	109
<b>Figura 5.53.</b> Compostos em JJA para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	111
<b>Figura 5.54.</b> Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para JJA...	112
<b>Figura 5.55.</b> Compostos em SON para PAS1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	113
<b>Figura 5.56.</b> Compostos em SON para PAS2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	115
<b>Figura 5.57.</b> Compostos em SON para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	117
<b>Figura 5.58.</b> Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para SON.	118
<b>Figura 5.59.</b> Compostos em SON para casos simultâneos positivos e negativos de PAS1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	119
<b>Figura 5.60.</b> Compostos em SON para casos simultâneos em fases opostas de PAS1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. ....	121
<b>Figura 5.61.</b> Compostos em SON para casos simultâneos em fases opostas de PAS2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F	

composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância. .... 123



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
<b>Tabela 5.1:</b> Variâncias das FOE's na frequência subsazonal.....	26
<b>Tabela 5.2:</b> Variâncias das FOE's na frequência intrassazonal.....	31
<b>Tabela 5.3:</b> Total de casos utilizados para cada padrão em cada trimestre. ...	32
<b>Tabela 5.4:</b> Total de casos simultâneos utilizados para cada padrão em cada trimestre. ....	32
<b>Tabela 5.5:</b> Total de casos utilizados nos compostos, para cada padrão e cada trimestre. ....	83
<b>Tabela 5.6:</b> Total de casos utilizados nos compostos simultâneos, para cada padrão e cada trimestre. ....	84



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AS	América do Sul
CPC	<i>Climate Prediction Center</i>
CP	Componente Principal
CSIS	<i>Cold Season Intraseasonal</i>
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
FOE	Função Ortogonal Empírica
HN	Hemisfério Norte
hPa	HectoPascal
HS	Hemisfério Sul
MAS	Modo Anular Sul
MCG	Modelo de Circulação Geral
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NEB	Nordeste Brasileiro
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
ROL	<i>Outgoing Longwave Radiation</i>
ROLA	<i>Outgoing Longwave Radiation Anomaly</i>
OMJ	Oscilação de Madden-Julian
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PAS	Pacífico-América do Sul
PAN	Pacífico-América do Norte
SEAS	Sudeste da América do Sul
TSM	Temperatura da Superfície do Mar

ZCAS Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCPS Zona de Convergência do Pacífico Sul

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	OBJETIVO .....	4
2.1	Objetivos específicos .....	4
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1	Ondas de Rossby e PAS .....	6
3.2	Modo Anular Sul (MAS) .....	11
4	DADOS E METODOLOGIA .....	16
4.1	Dados .....	16
4.2	Metodologia .....	16
4.2.1	Etapa 1- Preparação dos dados .....	16
4.2.2	Cálculo das teleconexões.....	17
4.2.3	Seleção dos casos para análise .....	18
4.2.4	Desenvolvimento de compostos.....	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
5.1	Configurações dos padrões na escala subsazonal de 10 a 30 dias .....	20
5.1.1	DJF .....	20
5.1.2	MAM .....	21
5.1.3	JJA.....	23
5.1.4	SON.....	24
5.2	Configurações dos padrões na escala intrassazonal de 45 a 90 dias .....	26
5.2.1	DJF .....	26
5.2.2	MAM .....	27
5.2.3	JJA.....	28
5.2.4	SON.....	29
5.3	Compostos.....	32
5.3.1	Variabilidade subsazonal.....	32
5.3.1.1	DJF .....	33
5.3.1.1.1	TO1 .....	33
5.3.1.1.2	TO2 .....	36
5.3.1.1.3	MAS.....	37
5.3.1.1.4	Compostos de extremos simultâneos de TO1 e MAS.....	40

5.3.1.1.5	Compostos de extremos simultâneos de TO2 e MAS .....	44
5.3.1.2	MAM .....	47
5.3.1.2.1	TO1 .....	47
5.3.1.2.2	TO2 .....	49
5.3.1.2.3	MAS.....	51
5.3.1.2.4	Compostos de extremos simultâneos de TO1 e MAS.....	53
5.3.1.2.5	Compostos de extremos simultâneos de TO2 e MAS.....	55
5.3.1.3	JJA .....	59
5.3.1.3.1	TO1 .....	59
5.3.1.3.2	TO2 .....	61
5.3.1.3.3	MAS.....	63
5.3.1.3.4	Compostos de extremos simultâneos de TO1 e MAS.....	65
5.3.1.3.5	Compostos de extremos simultâneos de TO2 e MAS.....	67
5.3.1.4	SON.....	71
5.3.1.4.1	TO1 .....	71
5.3.1.4.2	TO2 .....	73
5.3.1.4.3	MAS.....	75
5.3.1.4.4	Compostos de extremos simultâneos de TO1 e MAS.....	77
5.3.1.4.5	Compostos de extremos simultâneos de TO2 e MAS.....	79
5.3.2	Variabilidade intrassazonal.....	83
5.3.2.1	DJF.....	84
5.3.2.1.1	PAS1 .....	84
5.3.2.1.2	PAS2 .....	86
5.3.2.1.3	MAS.....	88
5.3.2.1.4	Compostos de extremos simultâneos de PAS1 e MAS.....	90
5.3.2.1.5	Compostos de extremos simultâneos de PAS2 e MAS.....	92
5.3.2.2	MAM.....	96
5.3.2.2.1	PAS1 .....	96
5.3.2.2.2	PAS2 .....	98
5.3.2.2.3	MAS.....	100
5.3.2.2.4	Compostos de extremos simultâneos de PAS1 e MAS.....	102
5.3.2.2.5	Compostos de extremos simultâneos de PAS2 e MAS.....	104

5.3.2.3	JJA .....	106
5.3.2.3.1	PAS1 .....	106
5.3.2.3.2	PAS2 .....	108
5.3.2.3.3	MAS.....	110
5.3.2.3.4	Compostos de extremos simultâneos de PAS1 e MAS.....	112
5.3.2.3.5	Compostos de extremos simultâneos de PAS2 e MAS.....	112
5.3.2.4	SON.....	112
5.3.2.4.1	PAS1 .....	112
5.3.2.4.2	PAS2 .....	114
5.3.2.4.3	MAS.....	116
5.3.2.4.4	Compostos de extremos simultâneos de PAS1 e MAS.....	118
5.3.2.4.5	Compostos de extremos simultâneos de PAS2 e MAS.....	122
6	CONCLUSÃO .....	125
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	127

## 1 INTRODUÇÃO

Variabilidade climática indica variações no estado médio do clima em várias escalas temporais, tais como subsazonal (10 a 30 dias), intrassazonal (30 a 90 dias), sazonal (entre estações), interanual (entre anos), multidecenal (entre décadas). As teleconexões indicam relações climáticas entre regiões distantes, ocorrendo tanto no Hemisfério Norte (HN) quanto no HS (HS).

Para que seja possível identificar teleconexões, são feitas análises climáticas com base em alguns métodos matemáticos e estatísticos como por exemplo análises de correlação, que indica a relação linear entre duas variáveis, e análises de Funções Ortogonais Empíricas (FOE), que é um método para obter padrões espaciais dos principais modos de variabilidade.

A AS é afetada por teleconexões, as quais têm diferentes impactos no clima desse continente (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009, p. 317). O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) que apresenta uma interação oceano-atmosfera, é relacionado ao aquecimento ou resfriamento anômalo da temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico equatorial (BJERKNES, 1969). A Oscilação de Madden-Julian (OMJ), é um distúrbio atmosférico que propaga convecção para leste sobre a região equatorial, principalmente do Índico e Pacífico (MADDEM; JULIAN, 1972). Ambos fenômenos produzem impactos na variabilidade climática da AS (KOUSKY et. al., 1984; KAYANO; KOUSKY, 1999; GRIMM, 2003; CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; LIEBMANN et. al., 2004; TEDESCHI et. al., 2013). As influências do ENOS canônico e da OMJ na AS são bem conhecidas. Em ocorrência de El Niño canônico, quando as anomalias positivas de TSM se concentram no Pacífico Leste, em geral se tem precipitação acima da média no sul do Brasil e abaixo da média no Nordeste, com o padrão de precipitação oposto durante La Niña. Quando as anomalias de TSM se concentram na região central do Pacífico Equatorial, as anomalias de precipitação sobre a AS são diferentes das de ENOS canônico (TEDESCHI et. al., 2013, 2014, 2015). A OMJ favorece ou inibe a convecção sobre o NEB, dependendo da fase a qual se encontra (KAYANO; KOUSKY; BARRETO et. al.,

2017). Entretanto, existem menos estudos sobre as influências de outros padrões de teleconexões na AS, como o padrão Pacífico AS (PAS) e o Modo Anular Sul (MAS), explicitadas nas próximas seções.

O PAS é um trem de onda de baixa frequência que se estende do Pacífico Sul até a AS, modula a circulação e as anomalias de precipitação sobre o continente e possui uma alternância entre cavados e cristas, impactando toda a coluna atmosférica (MO; HIGGINS, 1998). Esse trem de onda é formado a partir de uma região caracterizada por apresentar atividade convectiva anômala sobre o Pacífico tropical oeste (MO; HIGGINS, 1998).

Os Modos Anulares são os principais modos de variabilidade climática da região extratropical, atuando em ambos os hemisférios. Eles descrevem uma oscilação no campo de pressão, entre regiões de latitudes médias e latitudes polares, indicando um padrão "gangorra" Norte-Sul de massa atmosférica. No HS, primeiramente foi conhecido como Oscilação Antártica (*Antarctic Oscillation*, AAO), atualmente é comumente chamado de MAS (*Southern Annular Mode*, SAM) (THOMPSON; WALLACE, 2000). A fase positiva (negativa) é definida quando ocorrem pressões inferiores (superiores) às condições médias climatológicas sobre as regiões polares (latitudes médias) e anomalias positivas de vento de oeste ao longo de aproximadamente 55-60° de latitude.

A interação dessas teleconexões com sistemas de menor escala temporal, como ciclones e frentes frias, é importante para a variabilidade do clima. Reboita et. al. (2009), estudaram a relação sazonal do MAS e a distribuição espacial dos ciclones e regiões frontogenéticas na AS. Mendes e Cavalcanti (2013), estudaram a relação entre o MAS e eventos de bloqueio nos Oceanos Pacífico e Atlântico, mostrando que durante a fase positiva há mais eventos de bloqueio nas regiões do Pacífico Sudoeste e Atlântico do que durante a fase negativa. Sabe-se que as fases do MAS implicam no fortalecimento ou enfraquecimento dos jatos subtropical e polar (THOMPSON; WALLACE 2000; BARNES et. al. 2010), e os jatos, por sua vez tem relação com as trajetórias de sistemas sinóticos (NAKAMURA; SHIMPO, 2004). Na fase positiva do MAS, a trajetória dos sistemas sinóticos ocorre em latitudes mais altas, enquanto na fase negativa,

ocorre em latitudes mais baixas. Esse deslocamento implica em anomalias de precipitação sobre a AS, como discutido em Silvestri e Vera (2003), Reboita et. al. (2009), Cavalcanti et. al. (2021) e Vasconcellos et. al. (2019).

As passagens de sistemas sinóticos nas regiões extratropicais são chamadas trajetórias de tempestades e podem ser identificadas pela máxima variância de altura geopotencial na média e alta troposfera, calculada em períodos menores que uma semana (TRENBERTH, 1991). Também são identificadas por valores máximos de energia cinética, fluxos de momentum meridional, fluxos de calor vertical nessa escala de tempo (JAMES, 1994). Hoskins e Hodges (2005) identificaram as trajetórias aplicando uma técnica de rastreamento de ciclones. Em geral, diversos métodos disponíveis concordam em relação às regiões identificadas.

Como os padrões de teleconexão PAS e MAS têm influência sobre a AS (MO; PAEGLE, 2001; SILVESTRE; VERA, 2003), o entendimento de como esses padrões atuam em diferentes escalas temporais, assim como suas interações dinâmicas, e a explicação de como se relacionam, é de grande importância para compreender melhor suas influências na variabilidade da precipitação sobre a AS. Esse melhor entendimento pode auxiliar nas previsões de tempo e clima da AS.

## 2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo geral mostrar as influências do MAS e de trens de onda, individualmente e em conjunto, em duas bandas de variabilidade (subsazonal e intrassazonal), na precipitação sobre a AS.

### 2.1 Objetivos específicos

- 1- Obter o padrão dos modos de variabilidade no HS em termos do geopotencial, para as 4 estações do ano, em diferentes frequências de variabilidade (escala subsazonal: 10 a 30 dias e intrassazonal: 45 a 90 dias), utilizando o método de FOE, assim como a série temporal das amplitudes. Analisar os 3 primeiros modos de variabilidade, em 700hPa (primeiro modo) e 200hPa (segundo e terceiro).

Pergunta: Existem diferenças nas configurações dos modos de variabilidade considerando diferentes escalas temporais? Existem diferenças nos padrões desses modos durante as diferentes estações do ano?

- 2- Identificar as amplitudes extremas de cada padrão (MAS, PAS e trens de onda) nas séries temporais, para as 4 estações do ano, assim como os extremos simultâneos, nas duas escalas temporais. As amplitudes extremas são obtidas considerando os valores maiores do que 1,5 desvio padrão para os casos positivos e negativos. É feita uma tabela com o número de casos positivos e negativos de cada modo, nas 4 estações.

Pergunta: Há diferença em número de casos positivos e negativos, e diferenças entre as escalas temporais? Há diferenças de casos extremos entre as estações do ano?

- 3- Analisar compostos de dias com amplitudes extremas para cada padrão e para os casos simultâneos, de variáveis atmosféricas, como escoamento

em altos níveis, Radiação de Onda Longa, Altura Geopotencial em 200 hPa e Precipitação.

Pergunta: Quais as condições atmosféricas nos casos de MAS, PAS e trens de onda intensos? Quais as diferenças ou similaridades nas estações do ano?

4. Analisar as diferenças entre os casos com amplitudes extremas simultâneas para os modos e para as 2 escalas temporais, e as diferenças entre os compostos individuais e simultâneos, com relação às variáveis atmosféricas e as influências nas anomalias de precipitação na AS.

Pergunta: Quais as diferenças entre os compostos dos modos individuais e os compostos simultâneos? Quais as diferenças entre os compostos das duas escalas temporais? Como essas combinações impactam na precipitação da AS?

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Ondas de Rossby e PAS**

A onda de Rossby é uma perturbação no escoamento em que há a conservação da vorticidade absoluta e deve sua existência à variação do parâmetro de Coriolis com a latitude, o chamado efeito  $\beta$ . Esse movimento ondulatório no plano horizontal, em escala sinótica, é caracterizado pela alternância entre áreas de vorticidade ciclônica e anticiclônica ao se propagar, sendo a força restauradora dessa onda, a força de Coriolis (HOLTON, 2004, p. 213). Um dos fatores que favorece a geração de ondas de Rossby é o aquecimento diabático na região tropical, que é balanceado pelo movimento vertical ascendente e divergência em altos níveis, resultando em um distúrbio no campo de vorticidade absoluta. Dessa maneira, por conservação de vorticidade absoluta, as ondas de Rossby são geradas. Outro fator é a orografia, que gera ondas de Rossby por conservação de vorticidade potencial (HOLTON, 2004).

Usando modelos barotrópicos relativos à resposta da atmosfera a uma forçante térmica, Hoskins e Karoly (1981) verificaram a influência do aquecimento tropical e da divergência, na geração de ondas de Rossby, que se propagam para os extratrópicos.

Fontes de ondas de Rossby são intensas em regiões onde a magnitude do gradiente de vorticidade absoluta é máximo (SHIMIZU; CAVALCANTI, 2011; SARDESHMUKH; HOSKINS, 1988). Shimizu e Cavalcanti (2011) identificaram as fontes de onda de Rossby no HS e mostraram que na região extratropical do HS, o termo de alongamento do vórtice contribui para o desenvolvimento de fontes de onda de Rossby, enquanto no subtropical a maior contribuição provém da advecção de vorticidade absoluta.

As influências das ondas de Rossby na AS, são identificadas em diversos estudos e em diferentes escalas de tempo. Por exemplo, na escala de 2 a 10 dias, para o inverno austral, o primeiro autovetor de altura geopotencial em 500 hPa, mostra um trem de onda zonal de número de onda 4, entorno de latitudes médias do HS no intervalo latitudinal de 30°S a 70°S, mais intenso na porção leste do globo (CAVALCANTI; KAYANO, 1999). Analisando o terceiro modo para

essa estação, o trabalho mostra um trem de onda de número de onda 5, com maior intensidade na porção oeste do globo, próximo à AS. Para o verão, o primeiro modo apresenta um padrão de onda 5, mais intenso no hemisfério leste (0 a 180°) e ligeiramente deslocado para norte em relação ao primeiro padrão de inverno. As amplitudes da série temporal mostram flutuações de 4 a 7 dias. O terceiro modo do verão apresenta um padrão de onda 6, mais intenso entre 120°W até Greenwich (CAVALCANTI; KAYANO, 1999).

Estudando padrões de teleconexão e propagação de ondas de Rossby, Müller e Ambrizzi (2007), estabeleceram a hipótese de que a frequência de eventos de geada generalizada no sul da AS, pode estar associada à propagação de ondas de Rossby excitadas remotamente. Os autores seguiram o critério de que dias em que a temperatura da superfície continental estivesse abaixo de 0°C, para a região do pampa úmido argentino, seriam considerados eventos de geadas. Nos dias em que foram verificadas as geadas, foram identificados trens de onda com número de onda 6 e 7 ao longo da corrente de jato subtropical, enquanto que no jato polar o número de onda 3 foi dominante para a situação.

Mo e Ghil (1987) examinaram anomalias persistentes em todo o globo, e aplicando o método de FOE em anomalias de função corrente em 200hPa, identificaram um padrão de trem de onda do Pacífico central até a AS, ao qual denominaram padrão PAS, pela semelhança com o padrão do Hemisfério Norte, padrão Pacífico América do Norte (PAN). Mo e Higgins (1998) identificaram a existência de dois padrões semelhantes com certa diferença de fase, e os classificaram como PAS1 e PAS2. A partir da anomalia zonal de função corrente em 200 hPa, do equador ao pólo, Mo e Higgins (1998) calcularam o índice PAS, o qual foi obtido através do FOE, onde a primeira componente principal é o PAS1 e a segunda o PAS2. Padrões de convecção associados ao PAS1, identificados por anomalias de radiação de onda longa e precipitação, mostram fortalecimento da convecção no Pacífico equatorial oeste e supressão no Oceano Índico equatorial. Já o PAS2 mostra supressão da convecção no oeste do Pacífico Norte e fortalecimento no centro-oeste do Pacífico Sul.

Analisando a relação dos modos PAS, identificados através da primeira e segunda FOE da anomalia temporal e zonal de função corrente em 200hPa, com os trópicos, Mo e Paegle (2001) calcularam mapas de correlação dos modos com a TSM. A correlação entre o PAS1 e a TSM, mostra um típico sinal de ENOS, com pequena variabilidade sazonal. A correlação com o PAS2 varia fortemente sazonalmente. As correlações de TSM e PAS2 no Pacífico Tropical apenas foram identificadas durante SON, quando também foram observadas correlações significativas no Oceano Atlântico e Oceano Índico. Em DJF não foi detectado nenhum sinal, e em MAM e JJA, somente no Oceano Índico. Os autores calcularam a diferença entre os extremos positivos e negativos do índice para os dois modos, para as variáveis de divergência em 200 hPa e para precipitação, visando entender a influência de ambos os modos na AS. Para o PAS1, a divergência em 200 hPa mostra uma anomalia negativa sobre o NEB, o que representa convergência. Uma convergência em altos níveis favorece a movimentos descendentes, favorecendo à divergência em níveis mais baixos, suprimindo a formação de nuvens e, conseqüentemente, a precipitação na região. Tal fato é consistente com a localização do ramo descendente da célula de Walker, que em ocorrência de ENOS positivo, desloca-se para leste e impede a convecção no NEB. A convergência de fluxo de umidade integrado verticalmente, ao longo da costa sul do Brasil, é consistente com anomalias positivas de precipitação mostradas na região. Para o PAS2 a divergência em 200 hPa apresenta um dipolo sobre a América do Sul, consistente com o composto de precipitação, que apresenta anomalias positivas de precipitação mais ao sul e anomalias negativas na região da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A relação entre o dipolo de convergência/divergência em altos níveis, o fluxo de umidade e a precipitação mostra a influência no enfraquecimento ou na inibição da ocorrência de um evento de ZCAS (MO; PEAGLE, 2001).

Mo e Paegle (2001) também analisaram a relação de ROL e os trens de onda. Observaram um dipolo com anomalia de radiação de onda longa (AROL) negativa, centrada em 90°E sobre o Oceano Índico e AROL positiva no Pacífico central, de 10 a 14 dias antes do início de um PAS1 positivo. Durante esse

período, um trem de ondas começa a se formar sobre o Pacífico Sul. Com o passar do tempo, o dipolo de AROL se move para leste e o trem de ondas fica em fase com o PAS1 positivo. Quando o dipolo de AROL está centrado em 170°E no dia 0, a fase positiva do PAS1 alcança seu máximo. O padrão de convecção associado ao PAS2, está em quadratura com o PAS1. Um dipolo com AROL positiva no Índico e negativa no Pacífico Oeste começa a se estabelecer 4 a 8 dias antes do início do PAS2. Quando o dipolo se movimenta para leste a amplitude do PAS2 cresce.

Reexaminando a multi escala espectral da variabilidade do PAS e os mecanismos pelos quais essa variabilidade ocorre, O'Kane et. al. (2016), procuraram entender qual fração da variabilidade total associada ao PAS, ocorrida na escala interanual, é atribuída à forçante tropical. Para examinar a dinâmica da troposfera, os autores utilizaram variáveis como altura geopotencial e temperatura em níveis médios, da reanálise JRA-55 da *Japan Meteorological Agency*. Para o cálculo do índice PAS, calcularam as FOE da anomalia da altura geopotencial em 500 hPa, onde nesse caso, o FOE1 é respectivo ao MAS, o FOE2 ao PAS1 e o FOE3 ao PAS2. O estudo conclui que o PAS é um modo dinâmico de múltipla escala não linear que se manifesta desde a escala sinótica até a interanual. A maior porcentagem de variabilidade do modo PAS ocorre da escala sinótica até a intrassazonal, e é independente dos processos tropicais, manifestando-se por trens de ondas dinâmicos e de instabilidade. Pequena fração da variabilidade total com sinal tropical surge internamente devido à modulação dos jatos de latitudes médias no HS, através da componente zonal do vento térmico (O'KANE et. al., 2016).

Utilizando dados diários de anomalias de radiação de onda longa emergente, linhas de corrente e outras variáveis, a variabilidade intrassazonal da ZCAS foi investigada por Cunningham e Cavalcanti (2005), fazendo uso de técnicas estatísticas para o período de 1979 a 1999. Compostos de radiação de onda longa e anomalia do campo de vento em 200hPa, considerando eventos extremos de ZCAS, exibiram características similares ao padrão PAS conectando o Pacífico Tropical oeste/Indonésia com a convecção da ZCAS. Para obter a frequência entre 30 a 90 dias, os autores utilizaram a técnica do filtro de

Lanczos, com 70 pesos. Os casos de ZCAS foram classificados da seguinte maneira: ZCAS1, mais ao norte da posição climatológica; ZCAS2, posição climatológica; ZCAS3, localizada ao sul da posição climatológica. A correlação encontrada entre os dados de radiação de onda longa e a componente meridional do vento com os casos de ZCAS2 e ZCAS3, mostram um padrão similar ao da PAS sobre o Pacífico e a AS, porém essa correlação é mais forte com os casos de ZCAS3. Analisando o intervalo de 20 dias antes de se estabelecer a convecção na região da ZCAS, uma condição oposta é observada na área, e um aumento na convecção no Oceano Índico leste. Além disso, a atividade convectiva tende a ser suprimida sobre o Pacífico central. Com um intervalo de 10 dias antes, a convecção é suprimida no leste do Índico, a convecção intensifica na região da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e também sobre a região de áreas oceânicas da ZCAS. Essa convecção na ZCAS pode ser associada com um cavado sobre o sul do Atlântico e SEAS e é parte de um trem de ondas em latitudes médias.

Análises de FOE rotacionadas para anomalias de TSM no Pacífico oeste, indicam que águas mais aquecidas na região, são associadas com condições de seca sobre a região da ZCAS (DRUMMOND; AMBRIZZI, 2008). Através de simulações de Modelos de Circulação Geral (MCG), os autores indicam que essa condição de seca é gerada através do padrão PAS, gerado na Indonésia. Para anomalias positivas de TSM no sudoeste do Pacífico Sul, compostos indicam que há fortalecimento da precipitação na ZCAS e condições de seca nos sub trópicos. Tal fato ocorre, segundo os autores, devido a um trem de ondas que cruza o HS nos extratropicos, provavelmente associado à atividade transiente, a qual o modelo MCG falha ao simular.

Utilizando FOE de anomalias de ROL filtradas de 10 a 90 dias, para a estação de inverno austral, Alvarez et. al. (2014) nomearam o primeiro modo como CSIS, o qual representava um monopolo de AOLR sobre o SEAS, orientado noroeste a sudeste, e apresentava relação com trens de onda no HS. Os autores analisaram mapas de regressão linear da anomalia de altura geopotencial em 250 hPa para 20 dias antes e 8 dias após o pico de anomalias do CSIS. Para o dia -20, é observada uma circulação ciclônica anômala sobre a Antártica, e são

bem evidentes três centros anticiclônicos em médias latitudes. Essa estrutura assemelha-se com a fase positiva do MAS, associada a um fraco padrão de onda 3 e 4. No décimo quarto dia anterior ao pico, é notado um trem de onda de Rossby começando a se desenvolver desde a Austrália até a AS, aparentando com a fase negativa do PAS1 identificado por Mo e Higgins (1998). No dia -12 desenvolve-se um trem de ondas parecido com a fase negativa do PAS2.

### **3.2 Modo Anular Sul (MAS)**

No HS, essa teleconexão foi primeiramente conhecida como AAO e atualmente é comumente chamada de MAS (THOMPSON; WALLACE, 2000). A fase positiva (negativa) é definida quando ocorrem pressões inferiores (superiores) às médias climatológicas sobre as regiões polares (latitudes médias). O MAS é caracterizado por uma "gangorra" de massa atmosférica entre latitudes polares e médias, possuindo também impactos na circulação do HS. Na fase positiva do MAS, ocorrem anomalias de vento de leste na região do jato subtropical e anomalias de oeste na região do jato polar (THOMPSON; WALLACE, 2000).

Existem diferentes maneiras de calcular o índice MAS. Gong e Wang (1999) definiram o índice como a diferença entre a média zonal da pressão ao nível médio do mar normalizada, entre 40°S e 65°S. O *Climate Prediction Center/National Center for Environmental Prediction/National Oceanic and Atmospheric Administration* (CPC/NCEP/NOAA), calcula o índice através da aplicação do método de FOE na anomalia de altura geopotencial em 700 hPa, compreendendo a região de latitude 20°S até 90°S. Para o padrão obtido de anomalias negativas na região polar do HS e anomalias positivas nas latitudes médias, os valores positivos das amplitudes do modo na série temporal caracterizam a fase positiva, e valores negativos a fase negativa. Vasconcellos et. al. (2019) adaptaram o índice para um intervalo latitudinal de 30° a 90°S, com objetivo de minimizar a influência da região tropical.

Diversos autores estudaram os diferentes comportamentos das fases do MAS na AS, em diferentes variáveis e escalas de tempo. Gillett et. al. (2006), por exemplo, demonstraram que a fase positiva do MAS é associada a um

aquecimento significativo sobre a Argentina e a condições de seca sobre o sul da AS. Vasconcellos (2012) mostrou que, em novembro, a fase positiva do MAS apresenta um dipolo de anomalia de precipitação sobre a AS, com anomalias negativas sobre o sul do Brasil/Bacia do Prata e anomalias positivas ao norte. Este dipolo inverte de sinal na fase negativa.

Carvalho et. al. (2005), utilizando o índice diário do CPC/NCEP/NOAA, calculado através do FOE, mostraram que as fases distintas do MAS modulam a latitude de formação dos ciclones e seu deslocamento máximo em direção ao equador. Isso, certamente, ocorre devido ao deslocamento do jato subtropical em direção a latitudes mais baixas, durante a fase negativa do MAS, que favorece a formação e dissipação dos sistemas nessas latitudes. Durante a fase positiva, os ciclones formam-se, relativamente, próximos ao continente antártico. Isso é causado por uma forte baroclinia na região, devido a um fortalecimento do jato polar.

Analisando a relação entre o MAS e os eventos de bloqueio ocorridos sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico, Mendes e Cavalcanti (2013) mostraram que a máxima duração e o maior número de eventos sobre o Pacífico Sudoeste e o Atlântico Sul, ocorrem durante a fase positiva do MAS. A atividade de bloqueio sobre a região do Pacífico Sudeste é similar nas duas fases do MAS, mas a persistência é maior durante a fase negativa. Os autores também observaram que, durante todas as estações com MAS negativo, ocorrem anomalias negativas de geopotencial em 500 hPa sobre o SEAS. Essas anomalias negativas podem ser associadas à passagem de sistemas transientes sobre a região. Na fase positiva, as anomalias negativas de geopotencial (associadas a sistemas transientes) afetam a costa sudoeste da AS durante a primavera e o verão; enquanto no outono e inverno, afetam o SEAS. Este comportamento está relacionado com a posição dos bloqueios identificados na região oeste do Atlântico na primavera e no verão.

Há também uma relação entre os diferentes tipos de ENOS juntamente com o MAS, e a ocorrência de eventos de bloqueio. Oliveira et. al. (2017), estudaram a relação entre as fases do MAS, associadas aos diferentes tipos de ENOS

(Canônico e Modoki) e a ocorrência de bloqueios no HS. A ocorrência simultânea de El Niño canônico com MAS negativo diminui (aumenta) o número de dias de bloqueios sobre o sudeste do Pacífico durante a estação fria (quente) do HS. Durante a estação quente, o MAS mais fraco (fase neutra) ajuda a aumentar o número de dias de bloqueio sobre o sudeste do Pacífico (OLIVEIRA et. al., 2017). El Niño Modoki é o mecanismo mais favorável para um cenário de eventos de bloqueio durante o inverno no HS. Em conjunto com MAS negativo, ajudam a aumentar as ocorrências de dias de bloqueio sobre o Pacífico sudoeste. Esse número também aumenta, durante o verão, quando tem-se El Niño canônico e MAS negativo simultaneamente (OLIVEIRA et. al., 2017).

Fazendo uso de reanálises e medições in situ, Silvestri e Vera (2009) estudaram os impactos do MAS na AS; obtiveram médias mensais de 102 estações de precipitação, 103 de temperatura, e 95 de pressão ao nível médio do mar, localizadas em toda a região continental do HS, para as décadas de 1958-1979 e 1983-2004. O índice MAS foi calculado a partir das medições de pressão ao nível médio do mar. Os autores usaram a metodologia de Marshall (2003), e aplicaram o método de cálculo do índice de Gong e Wang (1999) para a média mensal de seis estações em dados de pressão ao nível médio do mar nas latitudes de 40°S e 65°S. Os resultados mostraram que, entre (1958-1979), a fase positiva do MAS foi associada a uma circulação anticiclônica anômala desenvolvida no sudoeste subtropical do Atlântico Sul, que intensifica a advecção de umidade e promove um aumento da precipitação sobre o SEAS. Por outro lado, durante as últimas décadas a anomalia anticiclônica induzida pela fase positiva do MAS abrange a maior parte do sul da AS e o Atlântico adjacente, enfraquecendo a convergência de umidade e diminuindo a precipitação sobre o SEAS.

Vasconcellos e Cavalcanti (2010) investigaram os verões (DJF) extremos chuvosos e secos em parte da Região Sudeste do Brasil, durante o período de 1979-2006. Identificaram nos resultados de anomalia de altura geopotencial em 500 hPa para verões úmidos e secos, o padrão "gangorra" entre a região polar e a região de latitudes médias, típica do padrão MAS. Observaram que os verões muito secos (chuvosos) apresentavam a configuração da fase negativa do MAS

(positiva). Anomalias positivas de precipitação ocorreram em uma faixa noroeste-sudeste sobre o sudeste do Brasil, típicas da ZCAS. Esse sinal inverte nos verões mais secos, apresentando anomalias negativas de precipitação sobre a mesma região.

Reboita et. al. (2009) estudaram a relação entre o MAS e os sistemas atmosféricos no HS, analisando padrões sazonais de ciclones, de frontogêneses e de distribuição de precipitação. Para esse efeito, foram calculadas a densidade de ciclones e a função frontogenética para o período de 1980 a 1999. Com relação aos ciclones, seus resultados concordam com os de Carvalho et. al. (2005), ou seja, as fases distintas do MAS modulam a latitude de formação dos ciclones e seu deslocamento máximo em direção ao equador. Os autores observaram que, na fase negativa do MAS, há condições frontogenéticas em todas as estações do ano sobre o sul do Brasil, Uruguai, e em partes do centro e nordeste da Argentina, bem como em uma grande região sobre o Atlântico Sul. Os autores também notaram que, para a fase positiva do MAS, o padrão geral de precipitação é quase oposto à fase negativa, particularmente durante a estação de outono, quando anomalias negativas de precipitação são observadas sobre o sul do Brasil e fracas anomalias positivas são observadas sobre o SEAS. Este padrão de balanço também é observado durante o verão, quando anomalias positivas de precipitação são observadas na parte central do Brasil, durante a fase negativa. Neste caso, a ZCAS é deslocada para o norte a partir de sua posição climatológica.

Vasconcellos, Martins e Cavalcanti (2019) analisaram o impacto mês a mês do padrão MAS na AS, calculando o índice da faixa latitudinal de 30° - 90°S. Comparando o índice calculado pelo Climate Prediction Center (CPC)/ National Centers for Environmental Prediction (NCEP), calculado entre 20° - 90°S com a adaptação desenvolvida pelos autores, calculado entre 30° - 90°S, é possível notar que a metodologia do estudo representa melhor os extremos do índice, o que leva à conclusão de que a influência da região tropical amortiza os extremos do índice calculado pela metodologia do CPC/NCEP. Nesse estudo, os autores investigaram, também, a influência de cada fase do MAS, retirando os meses de ocorrência de ENOS, na precipitação e na temperatura do ar a 2 metros. O

trabalho mostra que o MAS impacta de forma importante as condições climáticas na AS, entretanto há diferenças entre os meses e entre as fases, e que não necessariamente acontecem de forma oposta.

Diversos autores estudaram a relação do MAS com outros padrões de variabilidade climática. Através de análises observacionais e experimentos de modelagem, Kim et. al. (2017), investigaram a relação entre os índices MAS e ENOS durante o verão no HS. Pelas análises observacionais, concluíram que a relação só é mais robusta quando a forçante do ENOS é intensa o suficiente. As principais descobertas nos resultados de experimentos de modelagem, são que a forçante de sistemas transientes é significativamente ampliada com ENOS forte e, portanto, essa intensidade desempenha um papel importante na relação entre MAS e ENOS.

Embora o MAS seja um padrão intrínseco de variabilidade de latitudes extratropicais, o índice MAS mostra que essa variabilidade pode ser tropicalmente forçada. A assinatura do MAS no Pacífico se assemelha com o padrão PAS. A correlação entre a média sazonal do índice e a simultânea anomalia de TSM, revela uma estreita relação entre o MAS e as anomalias tropicais de TSM do Pacífico em JJA e SON. Nas demais estações a relação com as anomalias tropicais é mais fraca (DING et. al., 2012).

## **4 DADOS E METODOLOGIA**

### **4.1 Dados**

Para esse estudo, são utilizadas saídas diárias da Reanálise ERA-Interim (DEE et. al., 2011), com resolução de  $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ , para as variáveis de geopotencial, componentes zonal e meridional do vento em altos e baixos níveis.

São utilizados também dados de Radiação de ROL do *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), com intervalos preenchidos com interpolação temporal e espacial (LIEBMANN; SMITH, 1996). A intenção da técnica de interpolação é minimizar a distância no espaço ou tempo durante o qual um valor é interpolado. Todas as interpolações são feitas para cruzamentos diurno e noturno separadamente.

Para a precipitação são utilizados dados diários do CPC/NOAA (XIE et. al., 2007), o qual possui resolução de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  representando apenas a região continental, visto que é formado por dados observacionais.

O período utilizado é de 1980 a 2018.

### **4.2 Metodologia**

#### **4.2.1 Etapa 1- Preparação dos dados**

Os dados diários do ERA-Interim foram obtidos com cálculo de médias dos dados de 6 horas, do Geopotencial em 850, 700, 500 e 200 hPa, componentes zonal e meridional do vento em 200hPa. Anomalias diárias para cada variável foram calculadas usando a climatologia de 1981 a 2010. Esse é o período climatológico de 30 anos estabelecido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Após as anomalias serem calculadas, os dados foram filtrados utilizando a técnica do filtro de Lanczos, que, de acordo com Duchon (1979), possui o objetivo de alterar as amplitudes de Fourier que descrevem a série, e isto é feito utilizando pesos, para produzir uma nova sequência de dados.

O filtro transforma uma sequência de dados de entrada ( $x_t$ ), sendo  $t$  o tempo, em uma sequência de dados de saída ( $Y_t$ ), usando uma relação linear:

$$Y_t = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} w_k x_{t-k} \quad (4.1)$$

Sendo  $w_k$  o peso escolhido.

A relação entre a entrada e a saída, é obtida tomando a transformada de Fourier em (4.1) e o resultado é:

$$Y(f) = R(f).X(f) \quad (4.2)$$

Em que  $R(f)$  é a função resposta da frequência.

Os dados diários de 1981 a 2018 foram filtrados em duas bandas de variabilidade: 10 a 30 dias e 45 a 90 dias. A variabilidade com a filtragem na banda de 10 a 30 dias será chamada variabilidade subsazonal, obtida utilizando 66 pesos, e a de 45 a 90 dias, variabilidade intrassazonal, utilizando 117 pesos.

#### 4.2.2 Cálculo das teleconexões

Após a filtragem foi aplicado o método de FOE para obter os modos de variabilidade e as respectivas séries das amplitudes. A análise de FOE é uma técnica utilizada para obter padrões espaciais de variabilidade e a variação temporal de um campo escalar (BJÖRNSSON; VENEGAS, 1997). Lorenz (1956) utilizou essa técnica com a finalidade de encontrar uma maneira eficaz de extrair uma representação simplificada ou compacta de um conjunto de dados. O objetivo era uma representação otimizada do estado da atmosfera, em função do tempo e do espaço, ou seja, uma sequência temporal de campos meteorológicos.

Na escala mensal, sazonal e intrassazonal, o primeiro modo de variabilidade de geopotencial em 700hPa ou pressão ao nível médio do mar obtido pelo primeiro autovetor (FOE1) representa o MAS (THOMPSON; WALLACE, 2000).

Nessas escalas, o segundo e terceiro modos (FOE2 e FOE3) de geopotencial em níveis médios e altos representam o padrão PAS1 e PAS2 (MO; PAEGLE, 2001). Outra forma de obter os padrões PAS é através da aplicação do método de FOE às anomalias zonais de anomalias temporais de função corrente em 200hPa, os quais também podem ser obtidos nos modos 1 e 2, como discutido em Mo e Higgins (1998).

Para a análise do MAS, a FOE foi aplicada nos dados de anomalia diária filtrada de altura geopotencial em 700hPa, em ambas as bandas (BALDWING; THOMPSON, 2009), no domínio de 0 a 360° de longitude, com uma adaptação no intervalo de latitude para 30°- 90°S, diferente da metodologia original que utiliza o intervalo de 20°S a 90°S. Essa adaptação da metodologia é utilizada em Vasconcellos, Martins e Cavalcanti (2019) e possui a finalidade de capturar o principal modo de variabilidade da região extratropical minimizando a influência da região tropical no padrão. A série temporal do índice MAS é obtida através da Componente Principal (CP) do primeiro FOE, representada pelas amplitudes do modo. Considerando o padrão obtido com anomalias negativas de geopotencial nas regiões polares, os valores positivos (negativos) do índice MAS representam anomalias positivas (negativas) de altura geopotencial nas latitudes médias e anomalias negativas (positivas) em altas latitudes, ou seja, a fase positiva (negativa) do MAS.

As anomalias filtradas de altura geopotencial em 200hPa foram utilizadas na banda subsazonal para o domínio de 0° a 90°S e 0° a 360°W para obtenção das FOE 2 e o FOE 3. Na banda intrassazonal foi usado o domínio de 100°E a 30°W e 10°N a 80°S, o qual abrange a região do Pacífico tropical e Sul para obter as FOE 2 e o FOE 3 que representam o PAS1 e PAS2, respectivamente (MO; PAEGLE, 2001).

#### **4.2.3 Seleção dos casos para análise**

Foram selecionados os extremos diários positivos e negativos das séries das amplitudes de altura geopotencial em 700hPa para o primeiro modo (FOE1) e

altura geopotencial em 200hPa para o segundo e terceiro modos (FOE2 e FOE3) nas duas bandas de variabilidade. As amplitudes positivas que apresentam resultados acima de +1,5 desvio padrão são consideradas máximos (extremos positivos) e as amplitudes negativas abaixo de -1,5 desvio padrão são consideradas os mínimos (extremos negativos). Posteriormente, foram selecionados os extremos onde ocorrem a simultaneidade entre as fases (mesmo sinal e sinal oposto) de cada padrão.

#### 4.2.4 Desenvolvimento de compostos

Foram calculados compostos de anomalias de precipitação, ROL, altura geopotencial e linhas de corrente dos casos extremos selecionados, para analisar as configurações associadas, visando entender a relação entre os extremos dos índices e o impacto na variabilidade dessas variáveis.

Nesses resultados foi aplicado o teste de significância *t-student*. A distribuição *t* é uma distribuição simétrica que é muito semelhante à distribuição Gaussiana padrão, embora com maior probabilidade atribuída às extremidades, ou seja, a distribuição *t* tem extremidades com maior densidade do que a distribuição gaussiana. Essa análise é importante para determinar se os resultados da composição dos casos têm significância estatística. O valor *t*, obtido em 4.3, é analisado segundo:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (4.3)$$

onde  $\bar{x}$  é a média da amostra,  $\mu_0$  média da série completa, *s* desvio padrão da amostra, *n* tamanho da amostra.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Configurações dos padrões na escala subsazonal de 10 a 30 dias**

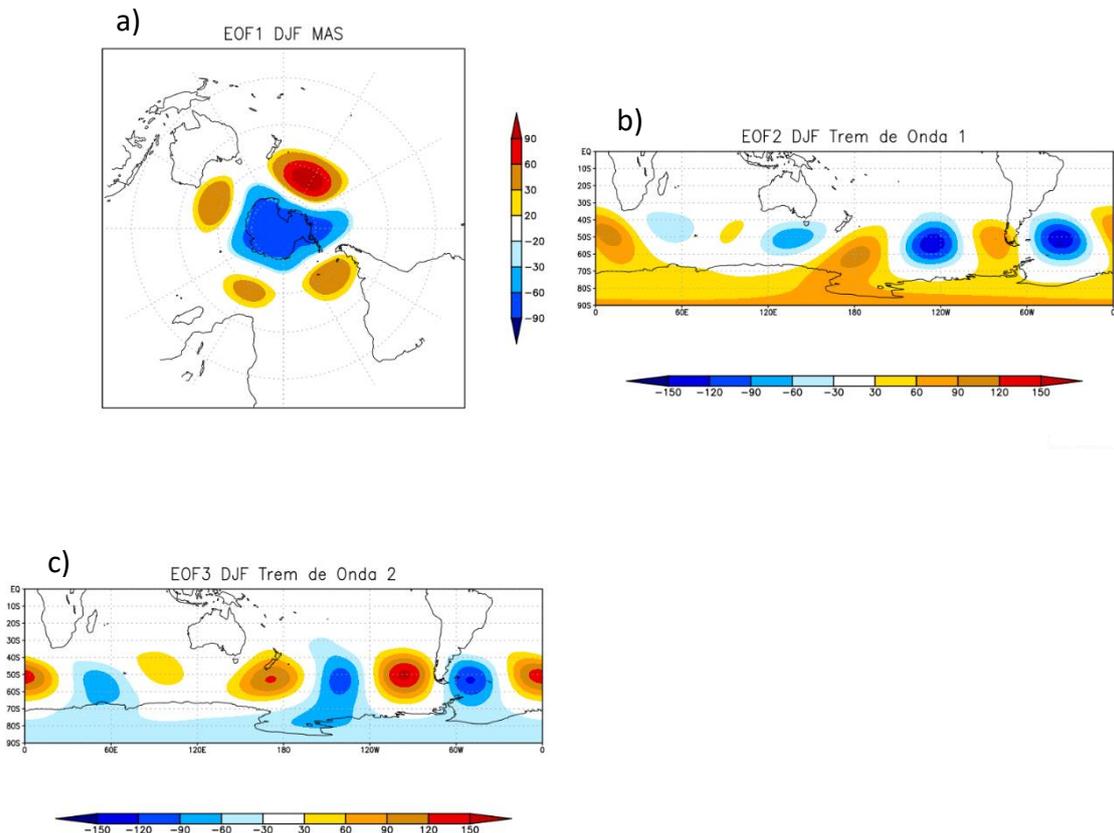
#### **5.1.1 DJF**

O primeiro modo (FOE1) obtido da matriz de covariância dos dados de anomalia filtrada de altura geopotencial em 700hPa representa o padrão do MAS (Figura 5.1 a). A segunda e terceira componentes principais da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, mostram dois trens de onda zonalmente orientados (Figura 5.1 b, c), por todo o HS em latitudes médias, diferente do padrão espacial do PAS. A projeção stereográfica polar foi utilizada para ressaltar o padrão do MAS.

Observa-se que o padrão do MAS e os padrões dos trens de onda, possuem centros de atuação bem próximos, e ou sobrepostos, o que sugere uma relação entre esses padrões. Considerando os dois Trens de Onda, é possível observar suave diferença de fase entre as duas ondas.

Ressalta-se, também, que os padrões possuem semelhanças nas latitudes polares e em latitudes médias, ambos possuem uma configuração de onda 4. A diferença entre o MAS (FO1) e os FOE 2 e FOE 3 é que nos dois últimos, os centros de ação são alternados em forma de um padrão trem de onda. Nota-se que os centros de ação são mais intensos sobre o Pacífico e Atlântico. Embora os centros não estejam sobre a AS, suas proximidades do continente influenciam as condições atmosféricas ao redor.

**Figura 5.1** Padrões para DJF. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 10 a 30 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão espacial MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 2. Ambas para DJF.

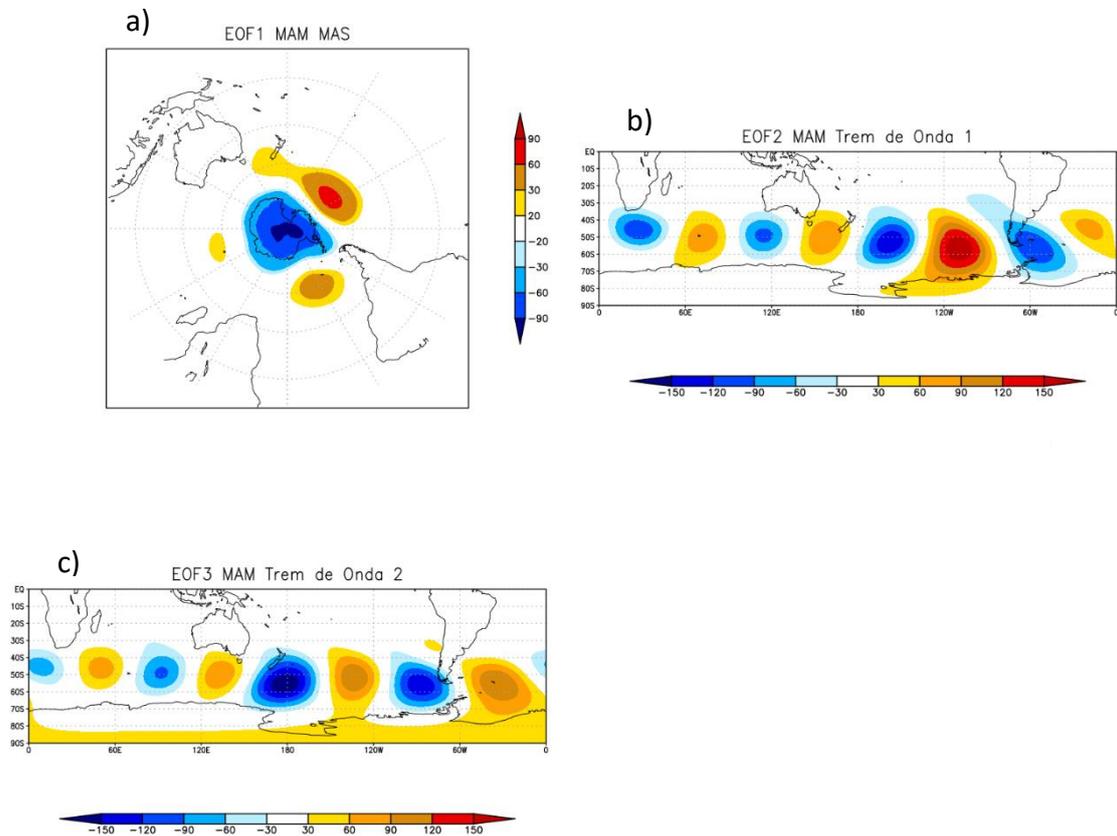


O primeiro modo (FOE1) obtido dos dados de anomalia filtrada de altura geopotencial em 700hPa representa o padrão do MAS (Figura 5.2 a). A segunda e terceira componentes principais da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, mostram dois trens de onda zonalmente orientados (Figura 5.2 b, c) por todo o HS em latitudes médias, diferente do padrão espacial do PAS.

Observa-se que o padrão do MAS é menos intenso do que aquele apresentado no trimestre de DJF. Em relação aos dois Trens de Onda, é possível observar a ligeira diferença de fase entre as duas ondas. Na configuração dos trens de onda ainda nota-se a atuação do número de onda 4, porém na configuração do MAS observa-se número de onda 3.

Nesta estação do ano os centros de ação dos trens de onda são mais uniformes, em comparação com DJF, embora mais intensos sobre o Pacífico e Atlântico sudoeste.

**Figura 5.2.** Padrões para MAM. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 10 a 30 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão espacial MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 2. Ambas para MAM.



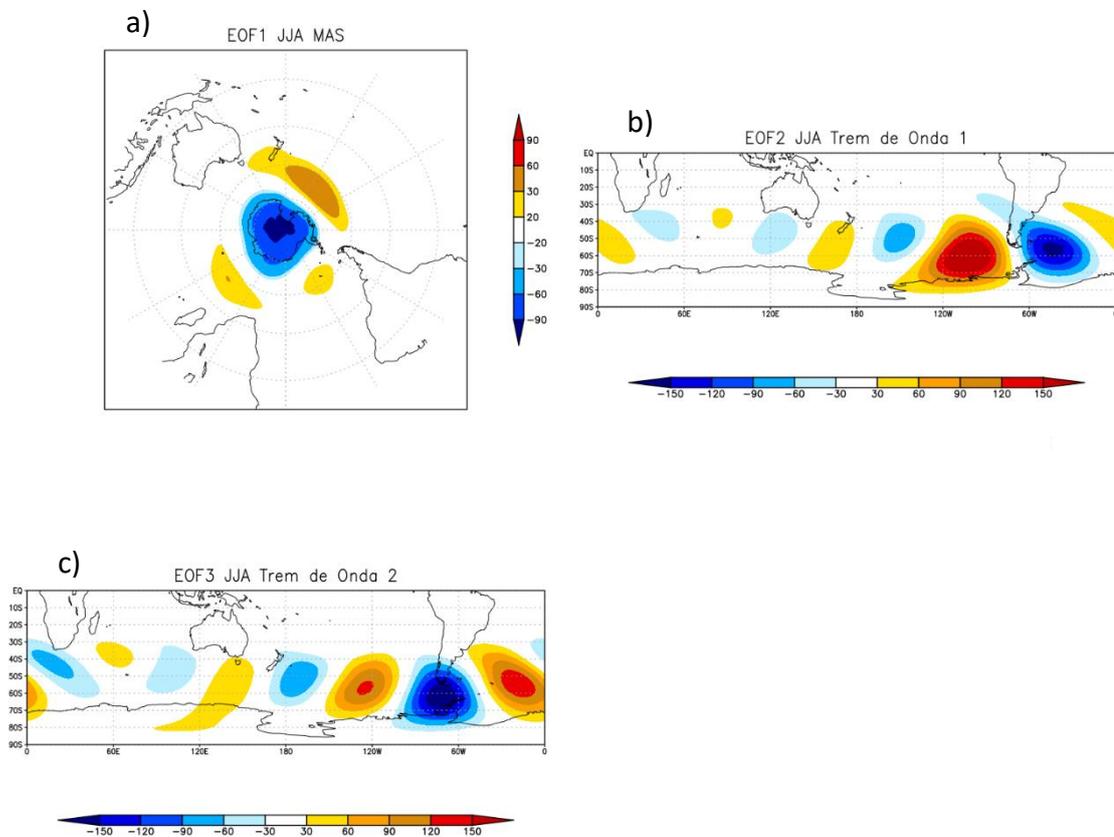
### 5.1.3 JJA

O primeiro modo (FOE1) obtido dos dados de anomalia filtrada de altura geopotencial em 700hPa representa o padrão do MAS (Figura 5.3 a). A segunda e terceira componentes principais da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, mostram dois trens de onda com uma configuração côncava sobre o Oceano Índico e convexa sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico, em latitudes médias, com os centros de ação mais intensos próximo à AS (Figura 5.3 b, c).

Observa-se que o padrão do MAS apresenta sua característica anular, porém pouco intenso sobre latitudes médias, com padrão de onda 3 e o centro mais intenso sobre o Oceano Pacífico Sul. Em relação aos dois Trenos de Onda, é

possível observar a ligeira diferença de fase entre as duas ondas, as quais possuem número de onda 4. Nota-se que no FOE2 e FOE3, os centros de ação dos padrões, nesse trimestre são menos intensos do que nos trimestres anteriormente mostrados, exceto próximo à AS.

**Figura 5.3** Padrões para JJA. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 10 a 30 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão espacial MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 2. Ambas para JJA.



#### 5.1.4 SON

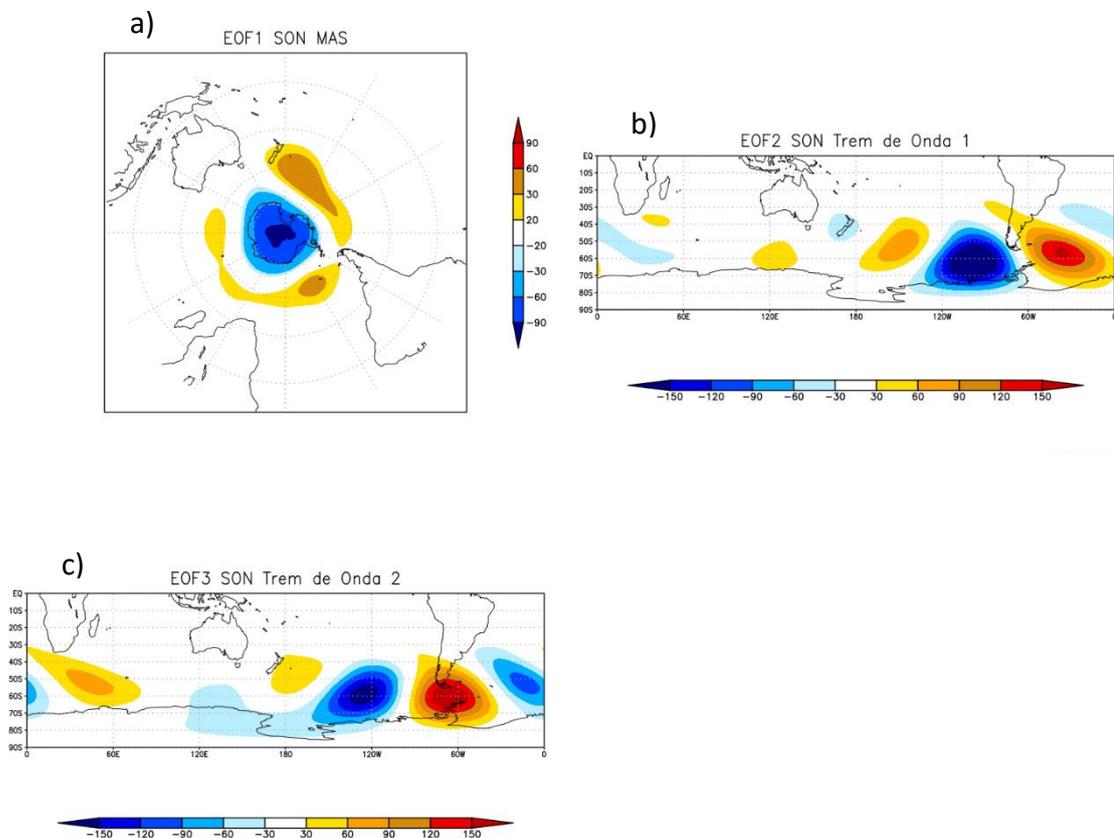
O primeiro modo (FOE1) obtido dos dados de anomalia filtrada de altura geopotencial em 700hPa representa o padrão do MAS (Figura 5.4 a). Observa-se que esse padrão apresenta característica mais anular do que nos trimestres anteriores, com dois centros mais intensos nas latitudes médias sobre o Oceano Pacífico e Atlântico. Espera-se que seja a configuração mais característica do

MAS nesse trimestre, já que o período ativo do MAS ocorre em novembro (THOMPSON; WALLACE, 2000; VASCONCELLOS, 2012; FOGT; MARSHALL, 2020).

A segunda e terceira componentes principais da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, mostram uma configuração convexa sobre o Pacífico Sudeste e Atlântico sudoeste, ao redor da AS, em uma configuração típica do PAS (Figura 5.4 b, c),

Nesse caso, é verificado que o FOE 2 e 3, possuem centros de ação mais intensos sobre a região do Pacífico Sul e Atlântico Sul. Sobre o Índico, o sinal é bastante fraco. Observa-se uma ligeira diferença de fase entre os dois trens de ondas.

**Figura 5.4.** Padrões para SON. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 10 a 30 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão Trem de Onda 2. Ambas para SON.



A variância dos padrões é apresentada na Tabela 5.1 para as quatro estações do ano. A variância para o MAS aumenta do verão, onde há o mínimo, para a primavera (período ativo do padrão), onde há o máximo. A variância dos trens de onda é maior no verão e outono.

**Tabela 5.1:** Variâncias das FOE's na frequência subsazonal.

	DJF	MAM	JJA	SON
<b>MAS</b>	13,8%	16,7%	17,1%	18,7%
<b>TO1</b>	10,6%	10,7%	9,5%	9,8%
<b>TO2</b>	9,3%	9,1%	8,9%	8,7%

Em relação à intensidade dos centros de ação, observa-se que nessa escala subsazonal o MAS apresenta o centro de latitudes médias localizado no Pacífico com maior intensidade do que no Atlântico e no Índico, em todos os trimestres. Os FOEs 2 e 3 apresentam maior intensidade próximo à AS nas quatro estações. Nas estações de verão e outono, os trens de onda são zonais, enquanto na primavera apresenta uma configuração semelhante à PAS, e no inverno uma configuração côncava/convexa.

Dessa forma pode-se notar que, para essa escala, o padrão do MAS é mais intenso no trimestre de SON, o qual é a fase ativa do modo (THOMPSON; WALLACE, 2000; VASCONCELOS, 2012; FOGT; MARSHALL, 2020).

## 5.2 Configurações dos padrões na escala intrassazonal de 45 a 90 dias

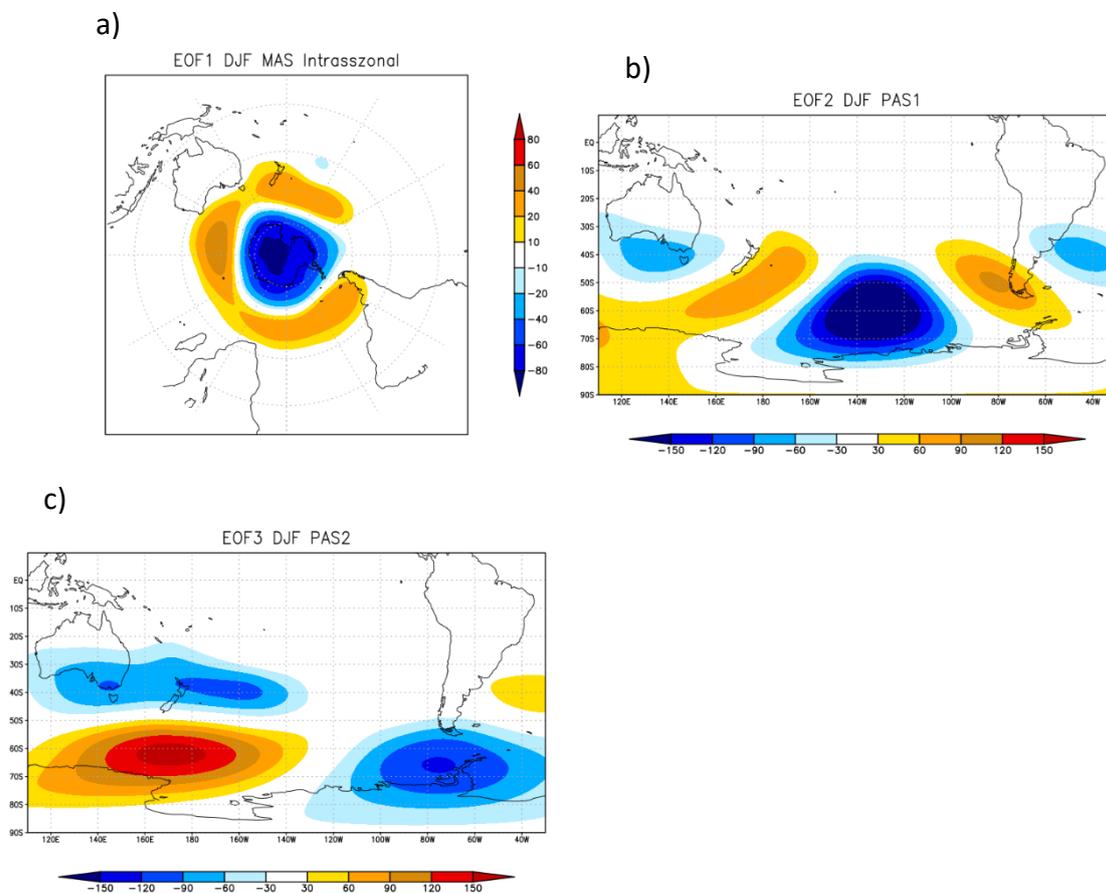
### 5.2.1 DJF

O primeiro modo (FOE1) obtido dos dados de anomalia filtrada de altura geopotencial em 700hPa representa o padrão do MAS, mais anular que na frequência subsazonal, e com número de onda 3 (Figura 5.5 a).

A segunda e terceira componentes principais da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, mostram dois trens de onda sobre o Pacífico Sul (Figuras 5.5 (b) e (c)), classificados como PAS 1 e PAS 2. O PAS1 apresenta o padrão típico do PAS, discutido em outros estudos mencionados nas referências bibliográficas (MO; GHILL, 1987; MO; HIGGINS, 1998). O PAS2 apresenta uma

oposição de fase entre os centros de latitudes altas e médias sobre o Oceano Pacífico e entre a Península Antártica e o Oceano Atlântico Sudoeste. Esse padrão, na fase positiva, tem uma configuração de bloqueio, principalmente sobre o Oceano Pacífico Sudoeste, onde os bloqueios são frequentes.

**Figura 5.5.** Padrões para DJF. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 45 a 90 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 2.

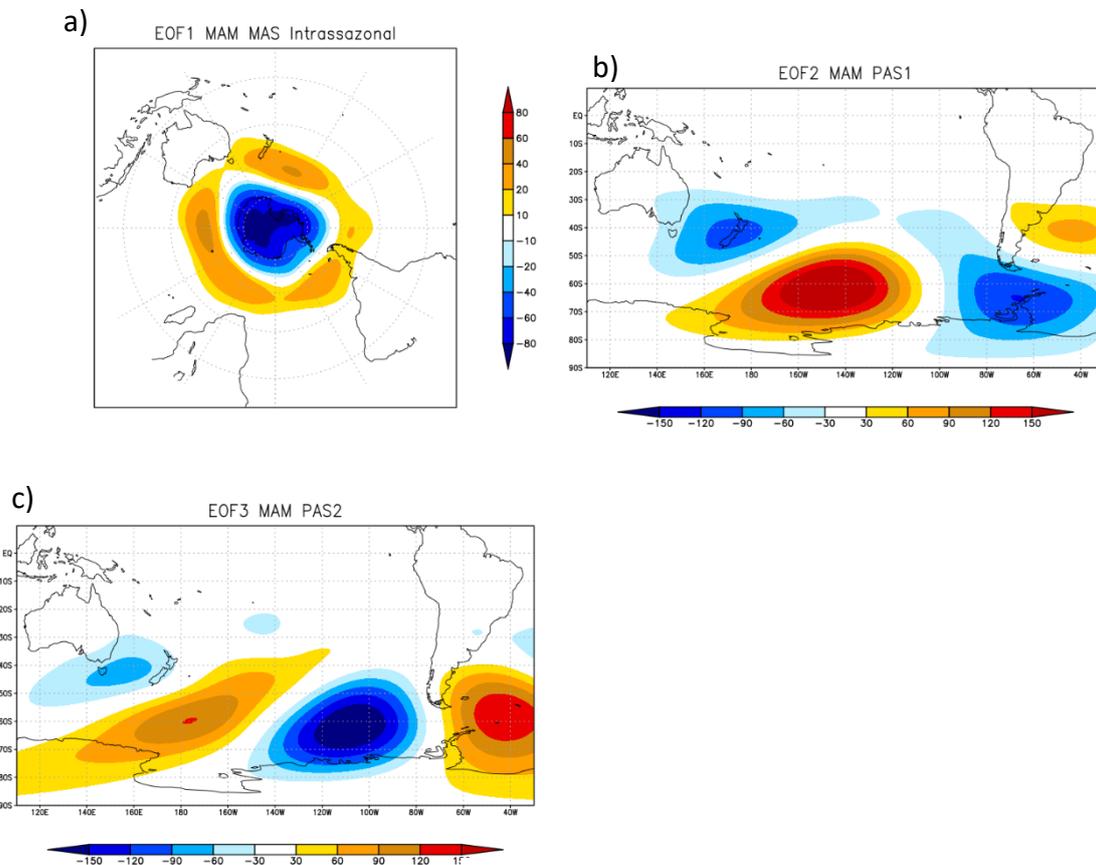


### 5.2.2 MAM

O primeiro modo (FOE1) obtido dos dados de anomalia filtrada de altura geopotencial em 700hPa representa o padrão do MAS com anomalias de latitudes médias mais intensas sobre o Pacífico Sul, Índico e Atlântico (Figura

5.6 a). A segunda e terceira componentes principais da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, mostram os padrões PAS 1 e PAS 2 (Figuras 5.6 b, c). Observa-se a diferença de curvatura e da posição dos centros de ação entre os dois trens de ondas.

**Figura 5.6.** Padrões para MAM. A) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 45 a 90 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão MAS; (B) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 1; (C) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 2.

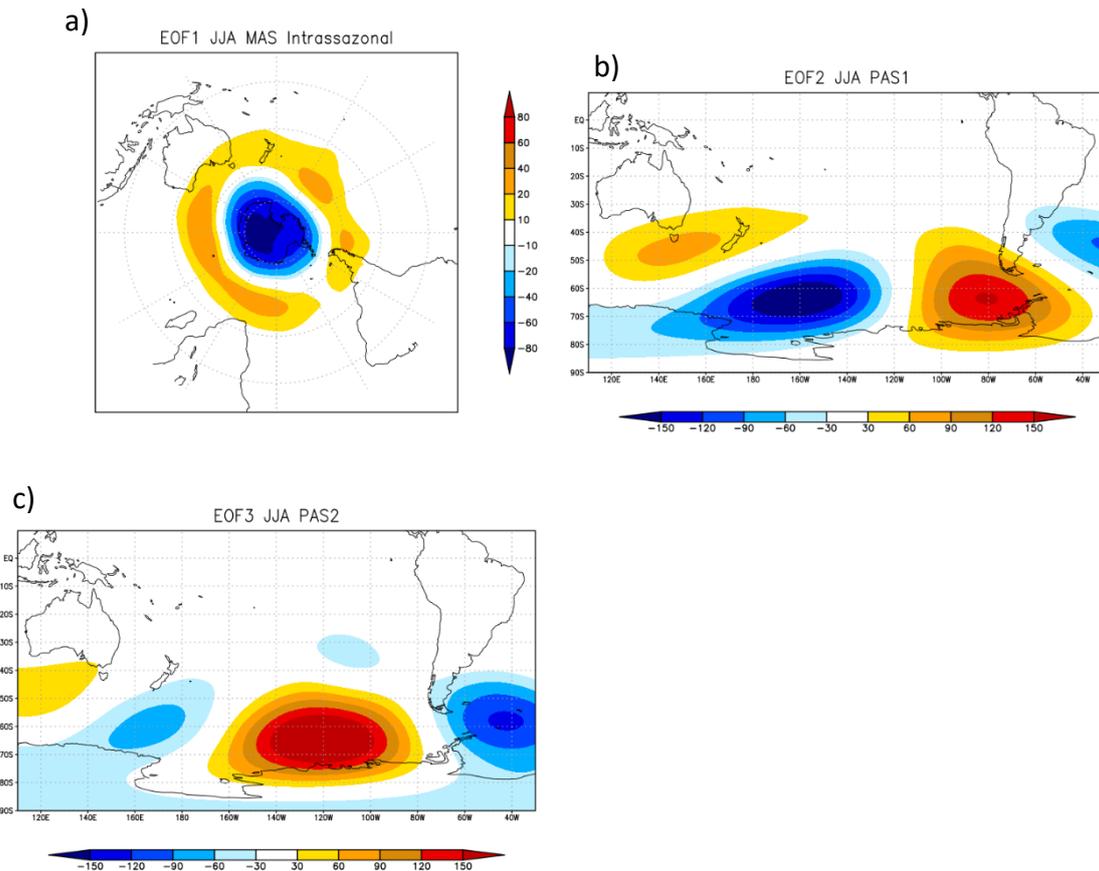


### 5.2.3 JJA

O primeiro modo (FOE1) obtido dos dados de anomalia filtrada de altura geopotencial em 700hPa representa o padrão do MAS, com as anomalias de latitudes médias mais intensas sobre o Oceano Índico (Figura 5.7 a). A segunda e terceira componentes principais da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, mostram os padrões PAS 1 e PAS 2 (Figuras 5.7 b, c). Nessa estação

do ano também se observa a diferença de curvatura e posição dos centros de ação entre os dois trens de ondas.

**Figura 5.7** Padrões para JJA. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 45 a 90 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 2.

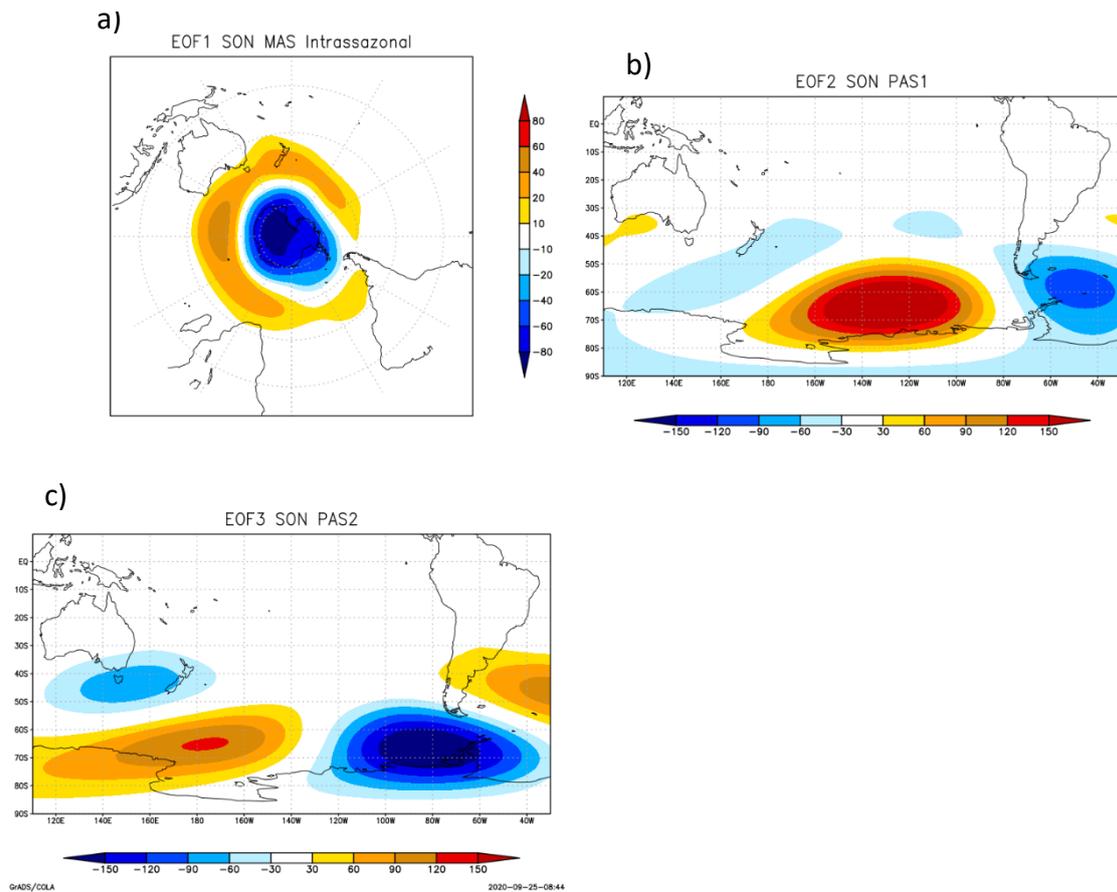


## 5.2.4 SON

O primeiro modo (FOE1) obtido dos dados de anomalia filtrada de altura geopotencial em 700hPa representa o padrão do MAS, com as anomalias de latitudes médias mais intensas se estendendo desde o Oceano Índico até parte do Oceano Pacífico e com uma característica anular (Figura 5.8 a). A segunda e terceira componentes principais da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, mostram os padrões PAS 1 e 2 (Figuras 5.8 b, c). Observa-se também

a diferença de curvatura e de posição dos centros de ação entre os dois trens de ondas.

**Figura 5.8.** Padrões para SON. (a) FOE1 da anomalia filtrada na banda de 45 a 90 dias de altura geopotencial em 700hPa, padrão MAS; (b) FOE2 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 1; (c) FOE3 da anomalia filtrada de altura geopotencial em 200hPa, padrão PAS 2.



A Variância dos padrões é apresentada na Tabela 5.2. Nessa frequência de variabilidade a variância do MAS é maior na primavera e verão. A variância do PAS1 é maior na primavera, e do PAS2, no inverno.

**Tabela 5.2:** Variâncias das FOE's na frequência intrassazonal.

	DJF	MAM	JJA	SON
MAS	40,7%	33,6%	38,7%	41,6%
PAS1	11,7%	13,1%	16,1%	19,4%
PAS2	10,1%	11,3%	14,1%	11,5%

Nessa banda de variabilidade, o par com anomalia positiva e negativa do PSA1 afeta a AS em todas as estações, exceto em SON, quando esse par ocorre no PAS2. Nas outras estações, o PSA2 mostra os centros deslocados. No MAS o sinal mais forte das latitudes médias se encontra na região do Oceano Índico, nas quatro estações, podendo indicar uma relação com a variabilidade intrassazonal da OMJ (HENDON et. al., 2007) ou do dipolo de TSM do Oceano Índico tropical.

Nessa seção, pôde-se verificar que nas escalas intrassazonal e subsazonal o MAS é o primeiro modo de variabilidade da componente principal, mantendo sua característica anular com traços de onda 3 e 4, respectivamente. Porém a variância do padrão difere da escala subsazonal, sendo na intrassazonal mais intensa nos trimestres de DJF e SON, enquanto na subsazonal é em JJA e SON. Nota-se que SON, independente da frequência, é o período onde o padrão é mais ativo, conforme demonstrado em outros estudos (THOMPSON; WALLACE, 2000; VASCONCELOS, 2012).

Na segunda e terceira componentes, observa-se grande diferença entre as escalas temporais. Na subsazonal foi encontrado um padrão de onda com orientação zonal, enquanto na escala intrassazonal encontrou-se os modos do PAS (MO; GHILL, 1987; MO; HIGGINS, 1998).

### 5.3 Compostos

#### 5.3.1 Variabilidade subsazonal

Nesta seção serão mostrados os resultados para os compostos obtidos na frequência subsazonal, filtrada na banda de 10 a 30 dias, para os casos selecionados com relação aos padrões Trem de Onda 1 (TO1), Trem de Onda 2 (TO2), que são a FOE 2 e 3, da anomalia de altura geopotencial filtrada para essa frequência e o MAS, que é a FOE1. As Tabelas 5.3 e 5.4 mostram os totais de casos utilizados para cada padrão e cada trimestre dessa frequência. Para os casos simultâneos, ou seja, os casos em que as amplitudes dos 2 modos estavam nos mesmos tempos com amplitudes maiores que +/- 1,5 foram escolhidos apenas os 10 casos com as maiores amplitudes, devido à diferença entre a quantidade de casos para cada fase dos padrões.

**Tabela 5.3:** Total de casos utilizados para cada padrão em cada trimestre.

TOTAL DE CASOS				
	DJF	MAM	JJA	SON
MAS POS	78	72	71	80
MAS NEG	88	70	88	75
TO1 POS	70	68	80	64
TO1 NEG	86	72	86	73
TO2 POS	90	65	75	68
TO2 NEG	78	64	72	64

**Tabela 5.4:** Total de casos simultâneos utilizados para cada padrão em cada trimestre.

TOTAL DE CASOS SIMULTÂNEOS				
	DJF	MAM	JJA	SON
MAS POS/ TO1 POS	10	10	10	10
MAS POS/ TO1 NEG	10	10	10	10
MAS NEG/ TO1 NEG	10	10	10	10
MAS NEG/ TO1 POS	10	10	10	10
MAS POS/ TO2 POS	10	10	10	10
MAS POS/ TO2 NEG	10	10	10	10
MAS NEG/ TO2 NEG	10	10	10	10
MAS NEG/ TO2 POS	10	10	10	10

### 5.3.1.1 DJF

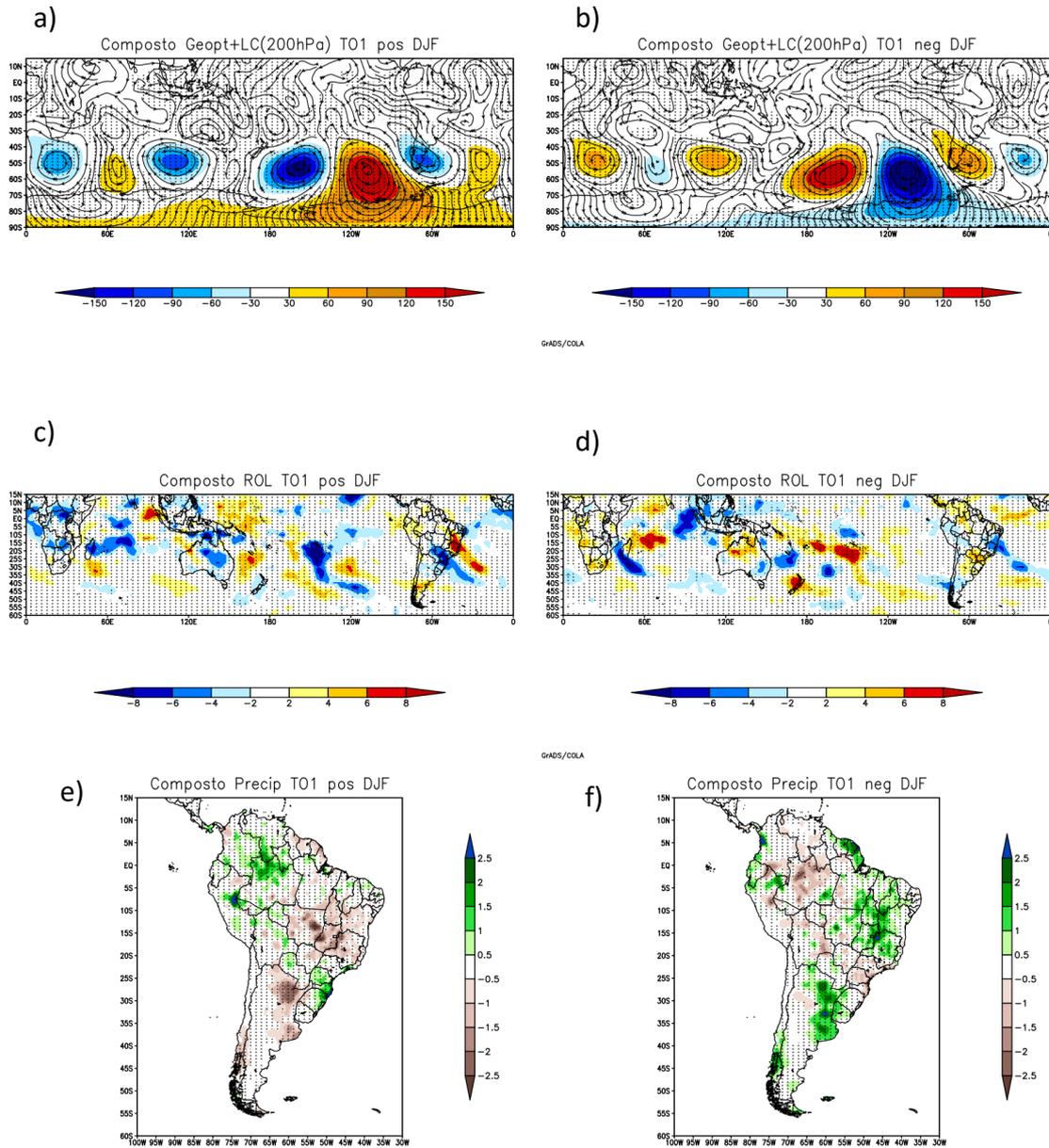
#### 5.3.1.1.1 TO1

Os compostos de anomalia de altura geopotencial e linhas de corrente em 200hPa, para os casos com máximas amplitudes do modo TO1, apresentam uma alternância entre circulações ciclônicas e anticiclônicas em latitudes extratropicais, configurando um trem de ondas com número de onda 4, circulando todo o HS. Observa-se uma alternância entre as fases do padrão, onde na fase positiva se ressalta um centro de anomalias positivas de altura geopotencial com anomalia anticiclônica na circulação entre 120<sup>o</sup>W e 90<sup>o</sup> W; e na fase negativa ocorre o oposto (Figura 5.9 a, b). Outro aspecto a destacar são anomalias de sinais opostos na região da Antártica entre as duas fases, que seguem o mesmo sinal do centro a sudoeste da AS. Há uma similaridade entre as fases do TO1 e MAS: fase positiva (negativa) TO1 e fase negativa (positiva) MAS.

Na fase positiva é notada uma banda NW-SE de anomalia negativa de ROL no SEAS (Figura 5.9 c) e, conseqüentemente, anomalias positivas de precipitação sobre a mesma região (Figura 5.9 e). É possível notar também uma anomalia positiva de ROL ao norte, que junto com a anomalia ao sul, forma um dipolo de anomalia de ROL sobre o Brasil, também observado no composto de anomalia de precipitação. Esse dipolo pode ser relacionado com a variabilidade da ZCAS, como discutido em outros estudos (CARVALHO, JONES; LIEBMANN, 2002). Essas anomalias sobre o SEAS são consistentes com uma anomalia ciclônica em 200hPa, que dá sustentação a um cavado alongado desde a Argentina até o oceano Pacífico, contribuindo com as anomalias sobre a região. Na fase negativa uma circulação anticiclônica é observada na mesma região, ocasionando a inversão do dipolo de anomalia de ROL (Figura 5.9 d). Para a anomalia de precipitação é também notado o oposto, onde anomalias positivas são verificadas sobre a divisa entre o Centro-Oeste e o Nordeste do Brasil, regiões de anomalias negativas de ROL, e negativas sobre São Paulo, Paraná e Santa Catarina, regiões de anomalias positivas de ROL (Figura 5.9 f). Anomalias opostas de precipitação também são observadas em outras áreas da

AS, como o Chile, leste da Argentina e Amazônia. Um sinal oposto de ROL na região da ZCIT do Atlântico com anomalias negativas (positivas) na fase positiva (negativa), indica uma intensificação e posicionamento mais ao sul da ZCIT na fase positiva (negativa). Os centros dos trens de onda atuam sobre a AS favorecendo movimentos ascendentes a leste do eixo do centro ciclônico e movimentos subsidentes a leste do eixo do centro anticiclônico. Se houver umidade suficiente, esses movimentos verticais podem contribuir para a precipitação.

**Figura 5.9.** Composto de anomalia de Altura Geopotencial, ROL e Precipitação TO1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados Teste de significância t-student, com 99% de significância.



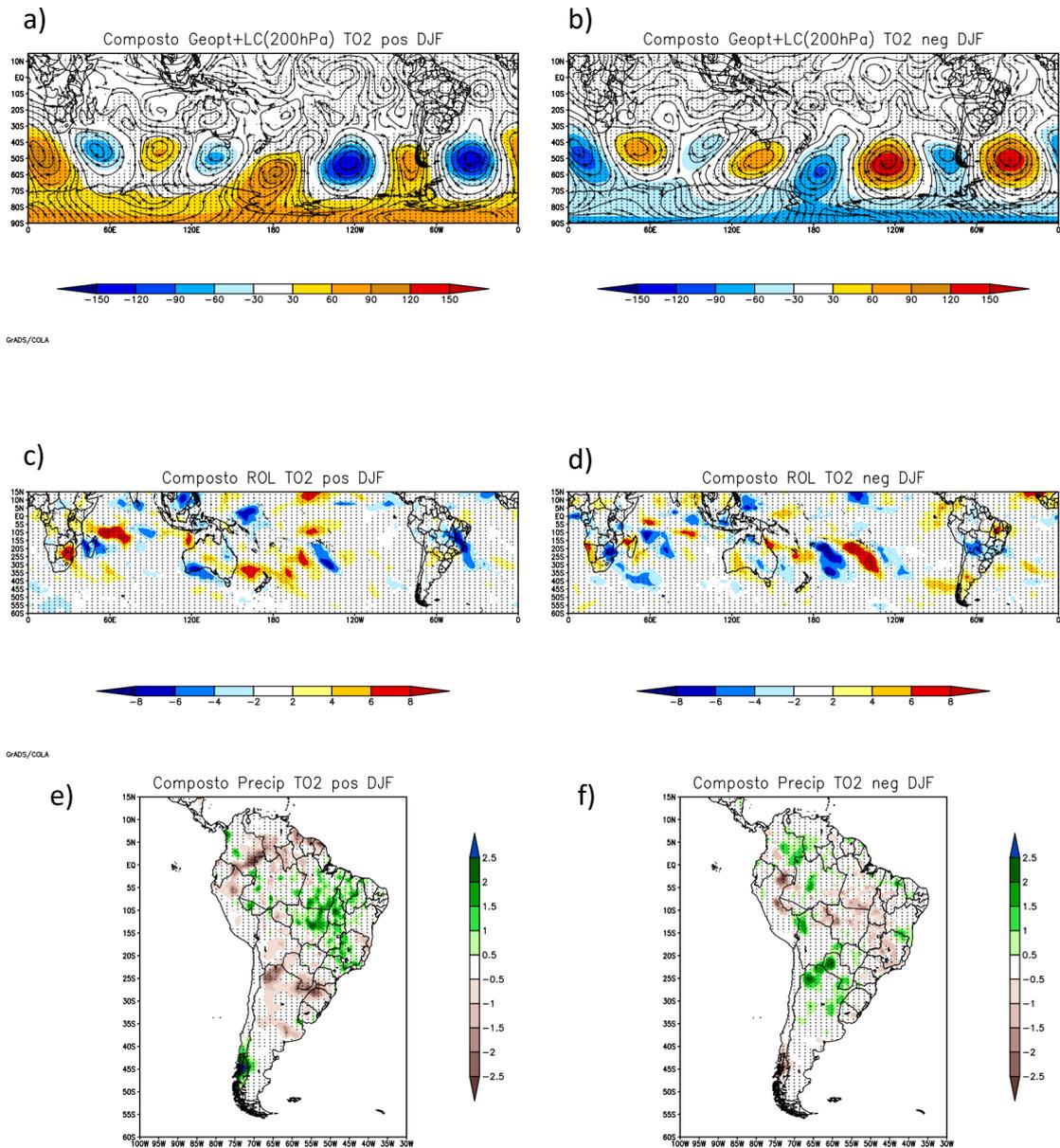
### 5.3.1.1.2 TO2

Nos compostos de anomalia de geopotencial em altos níveis do TO2 (Figura 5.10 a, b), verifica-se também um trem de ondas zonal na mesma latitude do TO1, também com número de onda 4, porém com certa defasagem em relação ao padrão anterior. Neste caso, os dois centros mais intensos do trem de ondas estão sobre o Pacífico Sudeste e Atlântico Sudoeste, os quais mudam de sinal nas duas fases. Verifica-se, também, a oposição em latitudes polares, com relação ao MAS.

Durante a fase positiva, é observado sobre o Atlântico Sul, uma anomalia ciclônica com um prolongamento de cavado (Figura 5 a), favorecendo regiões de anomalias negativas de ROL sobre o norte da Região Sudeste e o sul do NEB, e a anomalias positivas de precipitação (Figura 5.10 c, e, respectivamente). Uma circulação anticiclônica é notada na posição climatológica do cavado do NEB, indicando um enfraquecimento desse cavado. A configuração da anomalia ciclônica sobre o Atlântico e do cavado do NEB menos intenso, sugere que a ZCAS se desloque mais para norte da sua posição climatológica, como pode ser observado no composto de precipitação e ROL. Na fase negativa, as circulações em altos níveis são opostas sobre a AS e uma circulação anômala ciclônica é observada ao norte da posição climatológica do cavado do NEB (DAMIÃO, 1999) e, portanto, um enfraquecimento da configuração propícia à formação da ZCAS, que pode ser corroborado com os compostos de anomalia de ROL e precipitação (Figura 5.10 d, e). As duas fases também apresentam anomalias opostas de precipitação sobre o Chile e norte da Argentina, sendo que as anomalias no Chile são opostas às observadas no TO1. Isso se deve às defasagens nos centros dos trens de onda. Entretanto existe uma defasagem entre a ação dos centros próximos ao sudoeste da AS e as anomalias observadas no Chile.

Nesse padrão de TO2 também é possível observar um pulso intercalando anomalia positiva e negativa de ROL, próximo ao Pacífico central. Embora a banda de variabilidade neste caso seja a de 10 a 30 dias, essa configuração sugere um deslocamento do pulso da OMJ na região da ZCPS.

**Figura 5.10.** Compostos em DJF para TO2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.

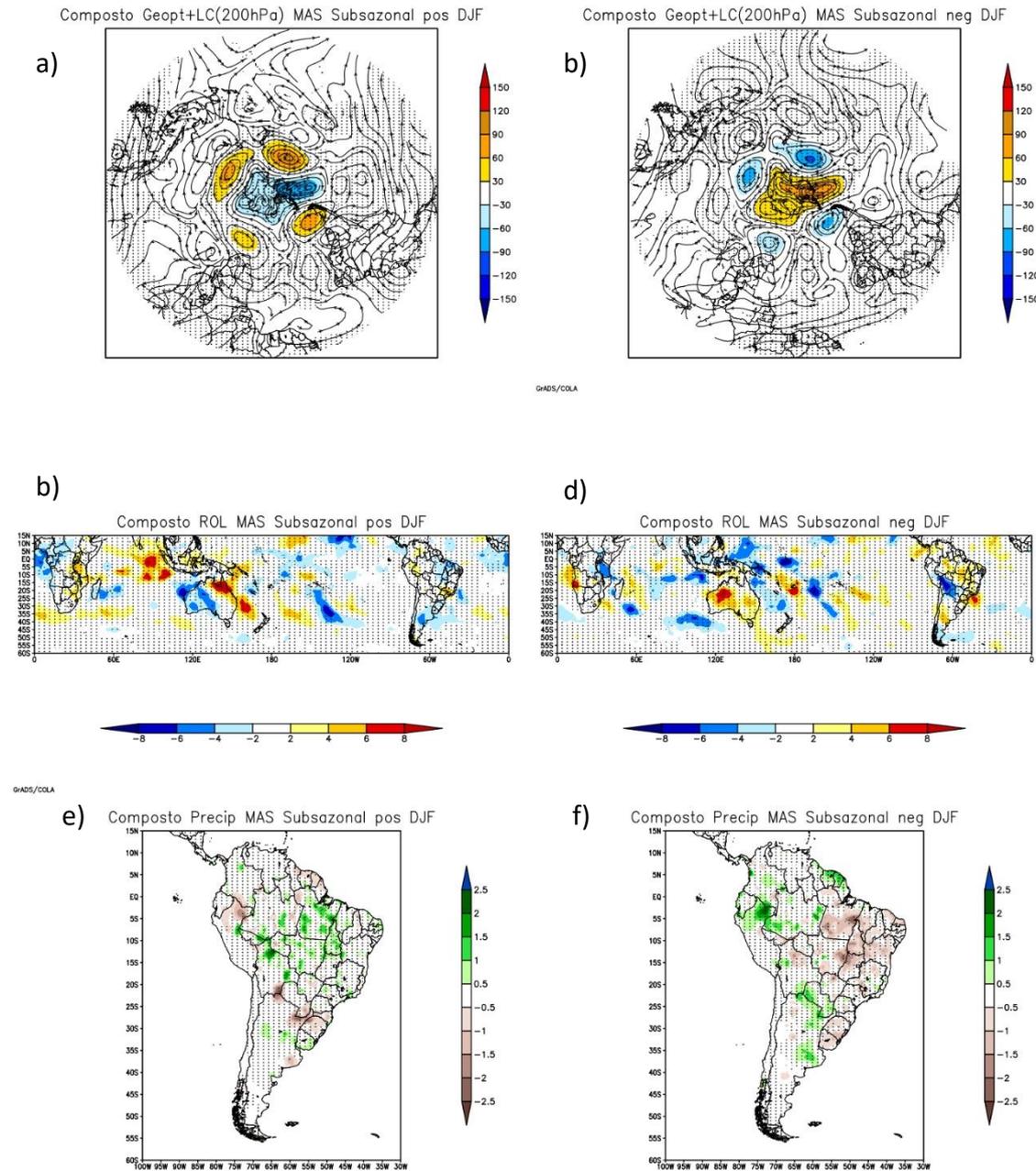


### 5.3.1.1.3 MAS

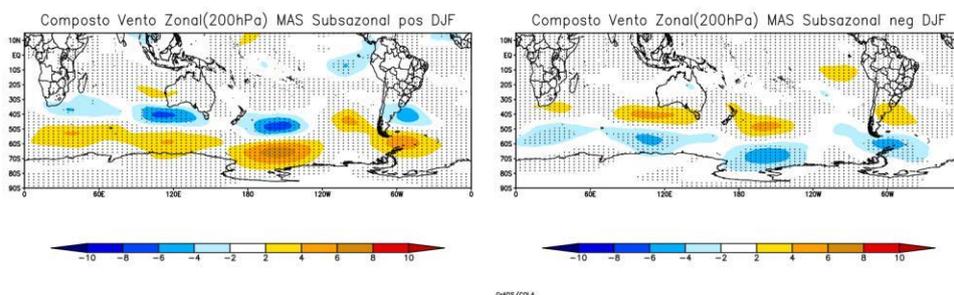
O MAS, para essa frequência, apresenta uma configuração típica em ambas as fases (Figura 5.11 a, b). Conforme discutido em trabalhos anteriores (FOGT; MARSHALL, 2020), durante a fase positiva há anomalias negativas de geopotencial nas regiões polares e positivas nas latitudes médias, e o oposto na

fase negativa, o que influencia na intensidade das correntes de jato. Na fase positiva o jato polar é favorecido positivamente, enquanto que a corrente de jato subtropical é enfraquecida, ocorrendo o oposto na fase negativa (CARVALHO et. al., 2005). O padrão hemisférico também mostra a dominância do número de onda 4 nas duas fases. Nota-se, na fase positiva, que sobre o SEAS há uma anomalia ciclônica em 200hPa, que associada à anomalia anticiclônica a sudeste da Argentina, forma uma configuração anômala de bloqueio do tipo dipolo sobre o sul da AS. Na fase negativa é observada a ocorrência do oposto à fase positiva. As diferenças de anomalias de precipitação são vistas principalmente no centro-norte do Brasil e no Paraguai. No caso positivo, há anomalias de leste sobre a AS tropical e um forte cisalhamento meridional, o que pode ter contribuído para a precipitação anômala. No caso negativo há anomalias de oeste apenas na região centro-sul. No campo de anomalias de ROL há também anomalias opostas sobre e próximo à Austrália, Índico e Oceano Pacífico, que podem representar anomalias na convecção entre a região tropical e extratropical (CARVALHO et. al., 2005). Essas análises são corroboradas pelos compostos de anomalia do vento zonal em 200hPa (Figura 5.12).

**Figura 5.11.** Compostos em DJF para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



**Figura 5.12.** Composto de anomalia do vento Zonal (m/s) em 200hPa para DJF. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



#### 5.3.1.1.4 Compostos de extremos simultâneos de TO1 e MAS

Avaliando a ocorrência simultânea de extremos das fases desses padrões, nota-se que a influência sobre a variabilidade do clima na AS é diferente da observada nos compostos individuais de cada padrão.

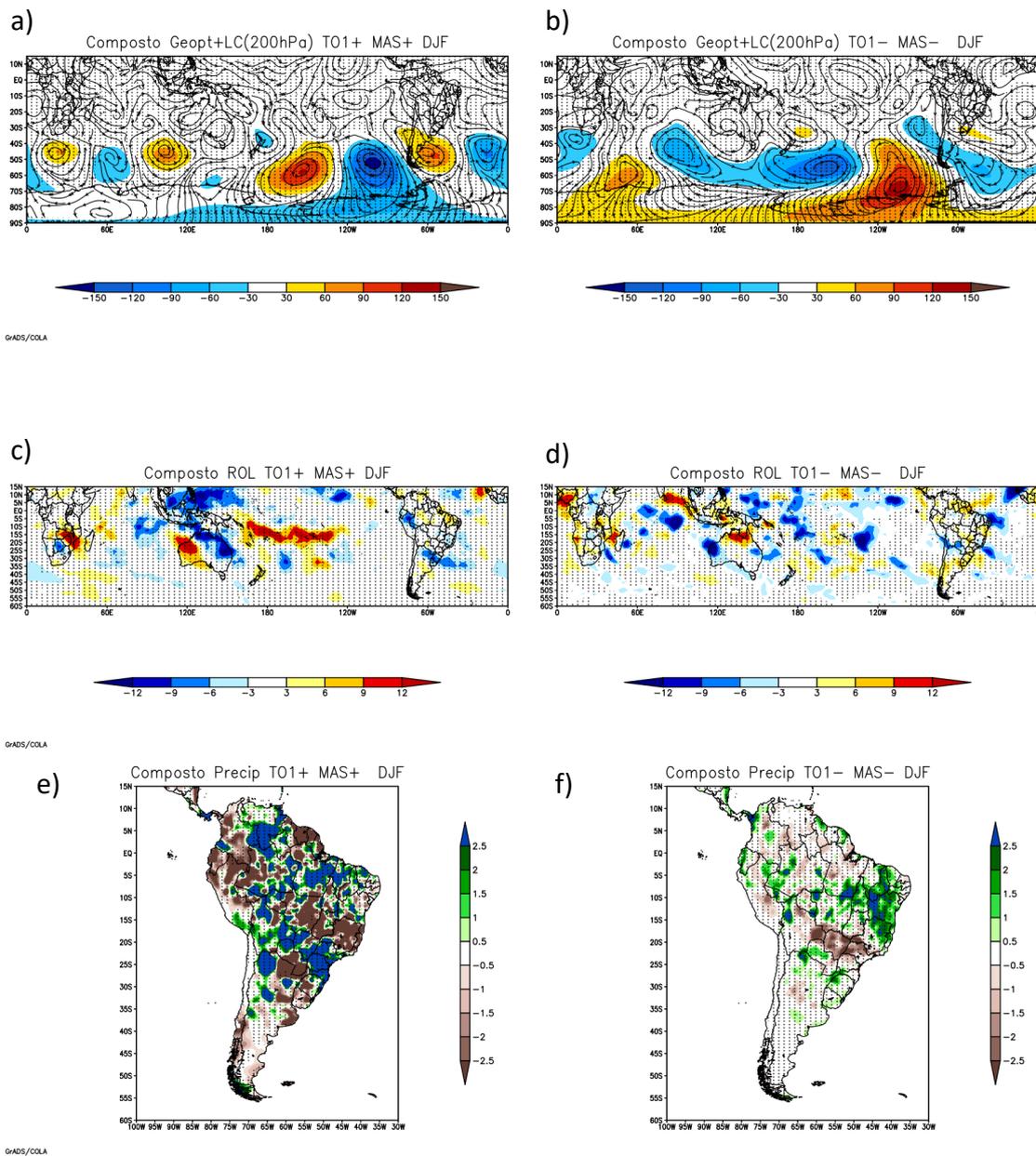
O centro de anomalia intensa em torno de 120°W, mostrado nos casos individuais, também é observado nos compostos simultâneos, de anomalia de altura geopotencial, e com sinais opostos em cada fase (Figura 5.13). Porém entre o MAS e o TO1 o sinal da anomalia é contrário para a mesma fase, ou seja, na fase positiva, é positivo no TO1 e negativo no MAS e vice-versa. Ou seja, o sinal do composto individual do MAS permanece no composto simultâneo (anomalias negativas para TO1+ e MAS +), enquanto o sinal do composto individual TO1 se inverte.

Durante a simultaneidade das fases positivas dos padrões, é observado, no composto de anomalia de altura geopotencial, o sinal de ambos os padrões. Um trem de ondas em médias latitudes com número de onda 4 e anomalia negativa sobre a região polar. Na fase negativa, nota-se que o MAS também é mais dominante, devido ao composto de anomalia de altura geopotencial mostrar bem definido o padrão do MAS em sua fase negativa (Figura 5.13 a, b).

Os centros de ação do padrão ondulatório resultam em precipitações anômalas alternadas sobre o Leste da AS, sendo, na combinação de fases positivas, anomalia negativa sobre o nordeste da Argentina, Rio Grande do Sul

e Paraguai; anomalia positiva entre Paraná e São Paulo; e anomalia negativa sobre Minas Gerais, Goiás e Espírito Santo. Na combinação entre as fases negativas é apresentado o oposto.

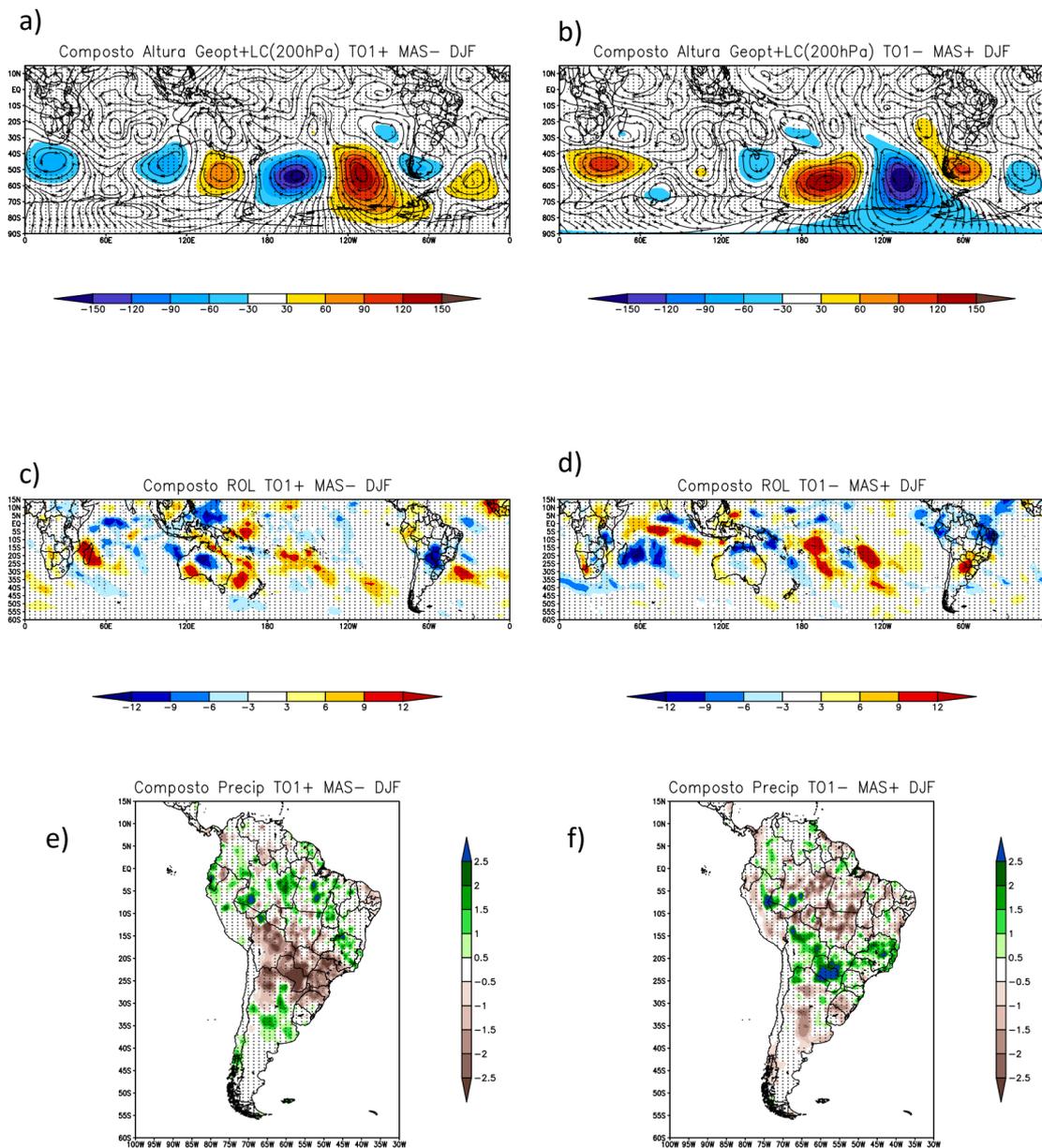
**Figura 5.13.** Compostos em DJF para casos simultâneos positivos e negativos de TO1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



Também foram analisados compostos para extremos com amplitudes opostas dos padrões. Associando dias em que ocorreram, simultaneamente, TO1 positivo e MAS negativo, nota-se, pelo composto de anomalia de altura geopotencial (Figura 5.14 a), que os dois padrões apresentam sinais semelhantes aos casos individuais. Nos 2 casos, a configuração é semelhante à do TO1 e consistente com o sinal do MAS. Ou seja, as fases opostas contribuem para o mesmo sinal.

Explorando a circulação anômala em 200hPa, causada pela associação entre TO1 e MAS, os centros intensos de anomalia de geopotencial a leste de 120°W (positivo para [TO1 + MAS] - e negativo para [TO1 - e MAS +]), intensificam o trem de ondas sobre a AS, gerando os centros alternados na circulação em altos níveis, responsáveis pelas alternâncias nas anomalias de precipitação sobre a AS, observadas nos dois casos. A influência dos centros associados ao SAM na intensificação de trens de onda sobre a AS também foi observada em Vasconcellos e Cavalcanti (2010). No caso TO1 positivo e MAS negativo, é observada uma circulação ciclônica sobre o sul da Argentina, a qual pode ser a causa das anomalias positivas de precipitação sobre o centro norte argentino, o oposto ocorre para a combinação de TO1 negativo e MAS positivo, em que há uma circulação anticiclônica e anomalias negativas de precipitação. Os próximos centros alternados promovem as anomalias negativas no primeiro caso e positivas no segundo. Ainda no primeiro caso, sobre a região Sudeste do Brasil, observa-se uma circulação ciclônica em altos níveis a qual dá suporte dinâmico às anomalias positivas de precipitação e consequentemente, negativas de ROL sobre o norte de Minas Gerais, Tocantins e sul do Pará. Nota-se também a oposição de anomalias em grande parte da região tropical da AS. As diferenças na circulação entre os dois casos opostos simultâneos influenciam nas anomalias de precipitação oposta.

**Figura 5.14.** Compostos em DJF para casos simultâneos em fases opostas de TO1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.

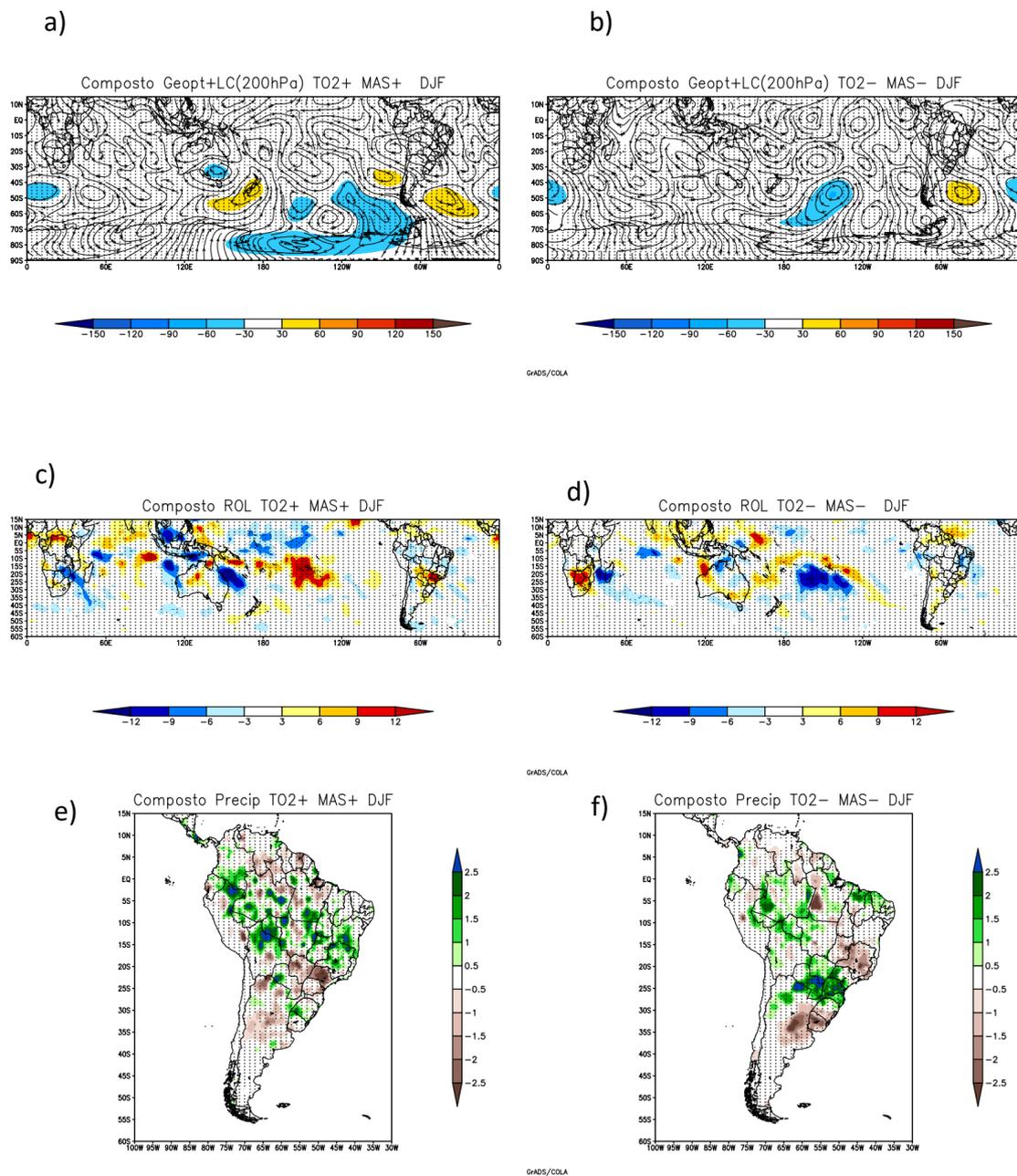


#### **5.3.1.1.5 Compostos de extremos simultâneos de TO2 e MAS**

Compostos de anomalia de altura Geopotencial mostram que na simultaneidade das fases positiva e negativa do TO2 e do MAS, há uma interferência destrutiva entre os padrões, apresentando fracas anomalias de geopotencial em algumas regiões (Figura 5.15).

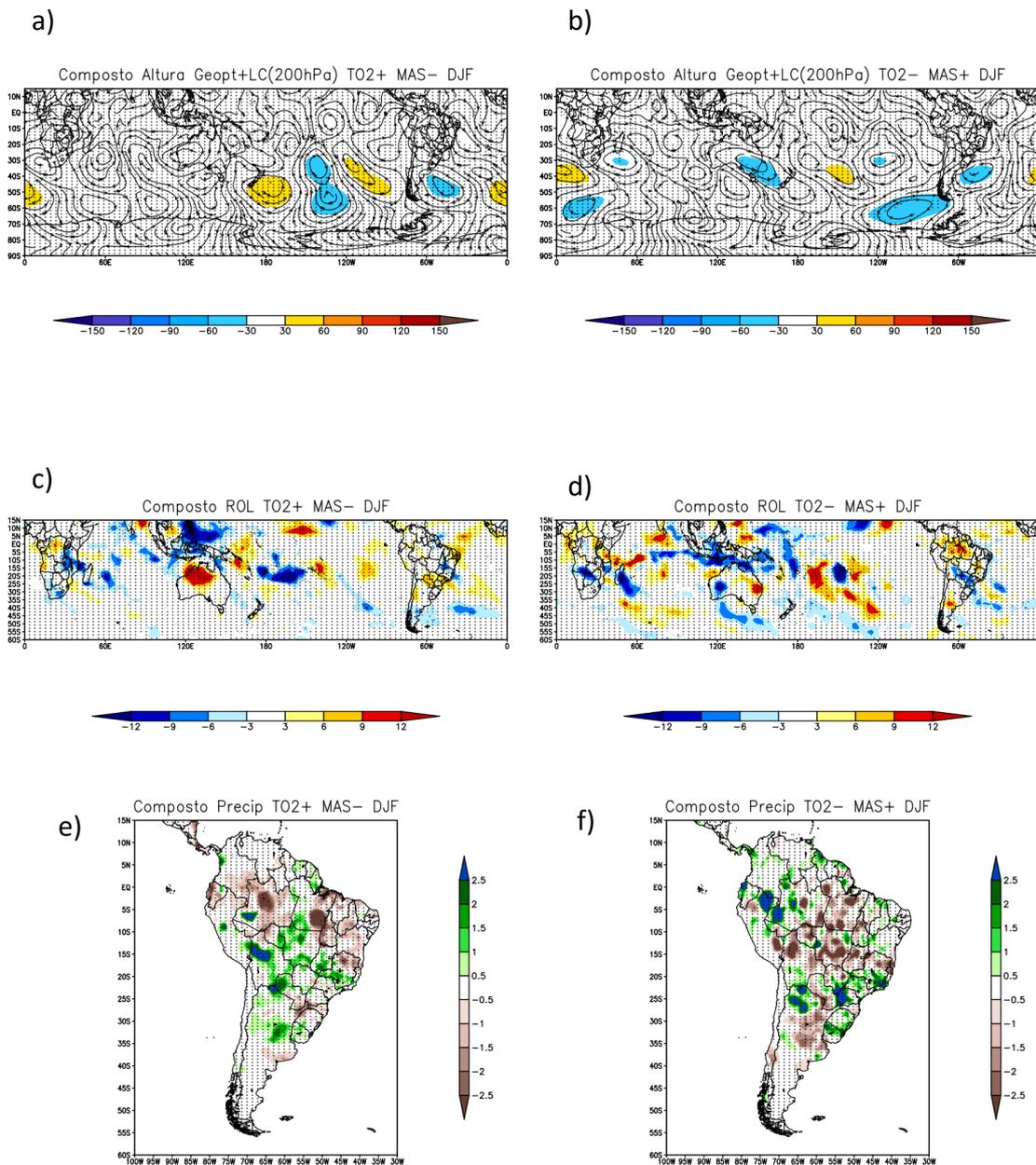
Mesmo assim, há um padrão de trem de ondas indicado nas anomalias de linhas de corrente em 200hPa. Para a combinação de fases positivas (negativas), nota-se uma circulação ciclônica sobre a região central da AS, e a leste dessa região o composto de Precipitação apresenta anomalias positivas (negativas), enquanto o de ROL mostra anomalia negativa (positiva). Dessa forma sugere-se que em casos como esse, há um favorecimento da formação de uma ZCAS mais ao norte (sul) de sua posição climatológica nas fases positivas (negativas) dos padrões.

**Figura 5.15.** Compostos em DJF para casos simultâneos positivos e negativos de T02 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



Tratando das simultaneidades de fases opostas (Figura 5.16), ainda é percebida uma perda de sinal nas anomalias de altura geopotencial. Entretanto na combinação de TO2 positivo com MAS negativo, um cavado sobre o leste da Argentina e sul do Uruguai oferece suporte para instabilidades mostradas na anomalia de Precipitação na região sul da Bacia do Prata e na Bolívia.

**Figura 5.16.** Compostos em DJF para casos simultâneos em fases opostas de TO2 e MAS Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



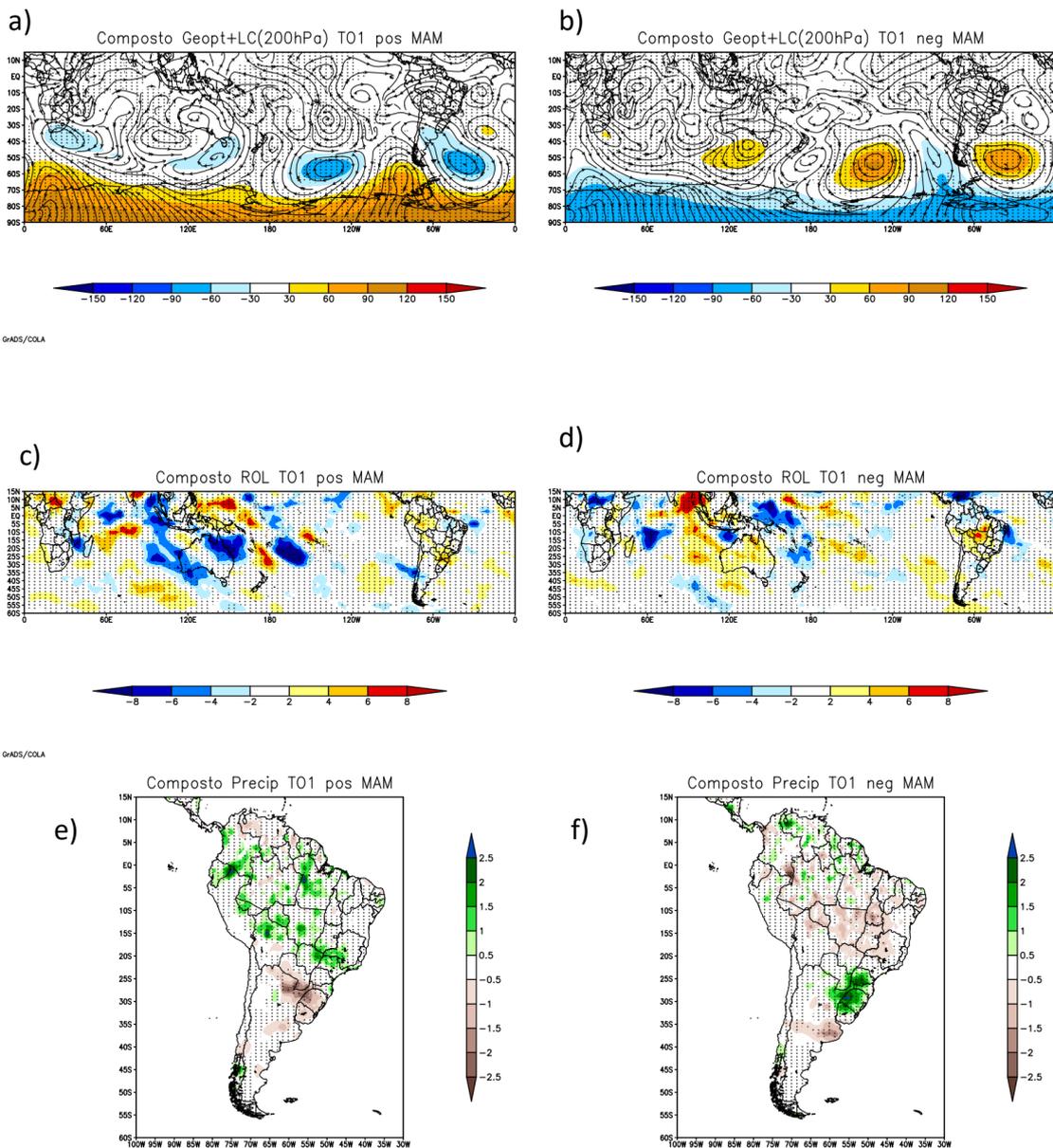
### **5.3.1.2 MAM**

#### **5.3.1.2.1 TO1**

Em MAM as fases do TO1 possuem sinais opostos às fases do MAS, semelhante a DJF (Figura 5.17). Porém, os centros alternados dos trens de onda em 200 hPa nas latitudes médias não são tão organizados. Na fase positiva (negativa) há anomalia positiva (negativa) de altura geopotencial sobre a região polar.

Analisando o padrão de anomalia encontrado para a circulação em 200hPa, uma anomalia ciclônica no Atlântico Sudoeste é notada, nos casos positivos, seguida por uma anomalia anticiclônica, e, corrente abaixo, uma anomalia ciclônica próxima ao NEB. Os centros alternados da circulação sobre a AS, desde o extremo sul, contribuem para as anomalias de precipitação observadas. Na Região Sul do Brasil há anomalias negativas de precipitação e na região centro-oeste/ sudeste, há anomalias positivas. Para a fase negativa é observado o oposto, onde na Região Sul, as anomalias de precipitação são positivas e negativas sobre o centro-oeste e sudeste do Brasil.

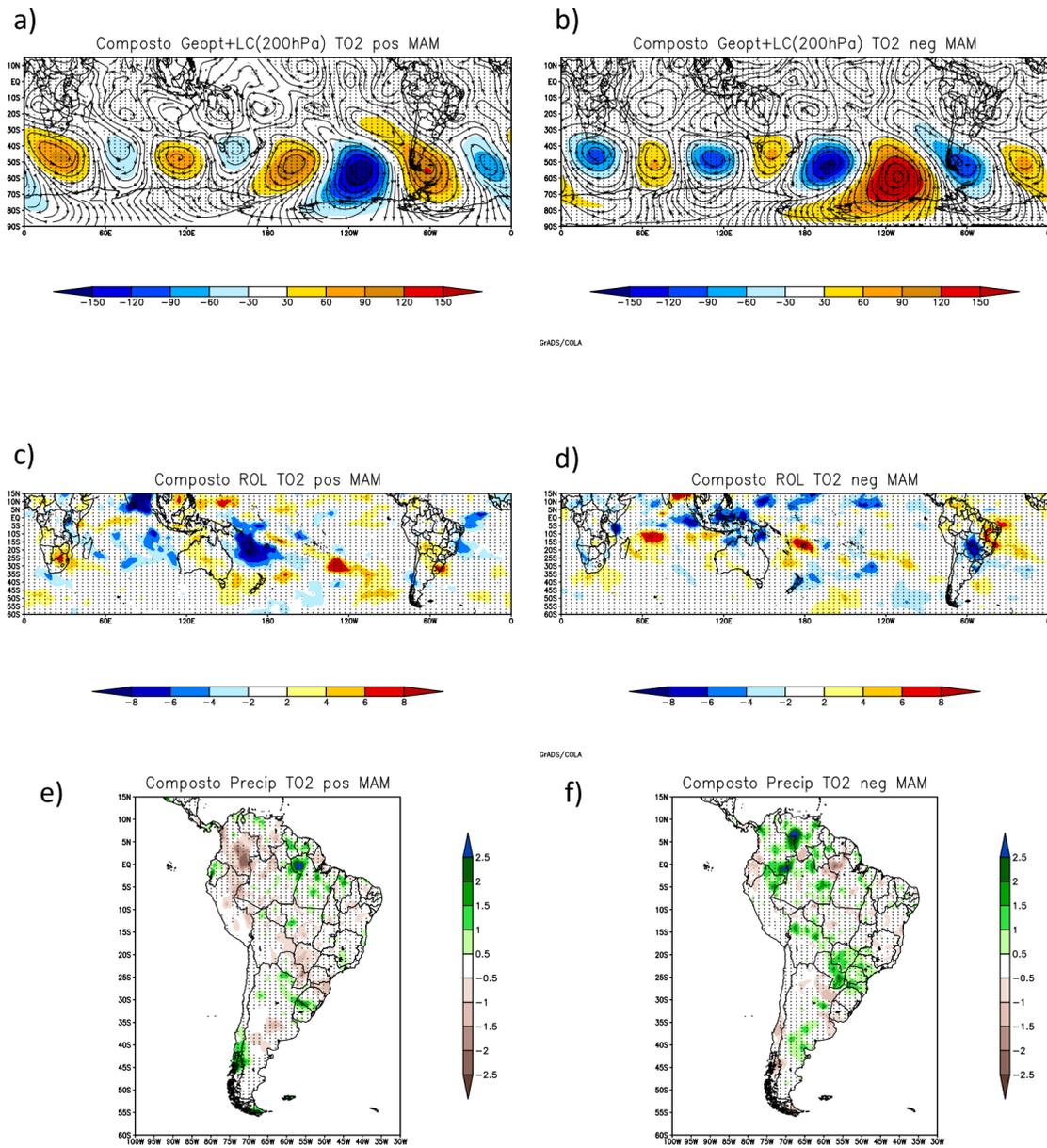
**Figura 5.17.** Compostos em MAM para T01. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



### 5.3.1.2.2 TO2

Para esse trimestre o TO2 apresenta sinais apenas em latitudes médias e mais organizados do que o TO1 (Figura 5.18). Caracteriza-se como um trem de ondas de número de onda 4, com anomalias de altura Geopotencial intensas sobre a região do Pacífico Sul e sul da AS. É perceptível a oposição dos sinais de altura Geopotencial entre as fases positivas e negativas, porém com forte intensidade nos mesmos centros. O campo de anomalias de geopotencial estão defasados com relação às anomalias de precipitação. Na fase positiva, as anomalias de precipitação positivas no Chile e negativas na parte do Sul e centro-oeste do Brasil são consistentes com o cavado no sudeste do Pacífico mais deslocados para leste. O oposto se aplica à fase negativa, onde a presença de um cavado em 200hPa no sul da AS, contribuiria para as anomalias de precipitação sobre o SEAS, anomalia corroborada pela anomalia negativa de ROL.

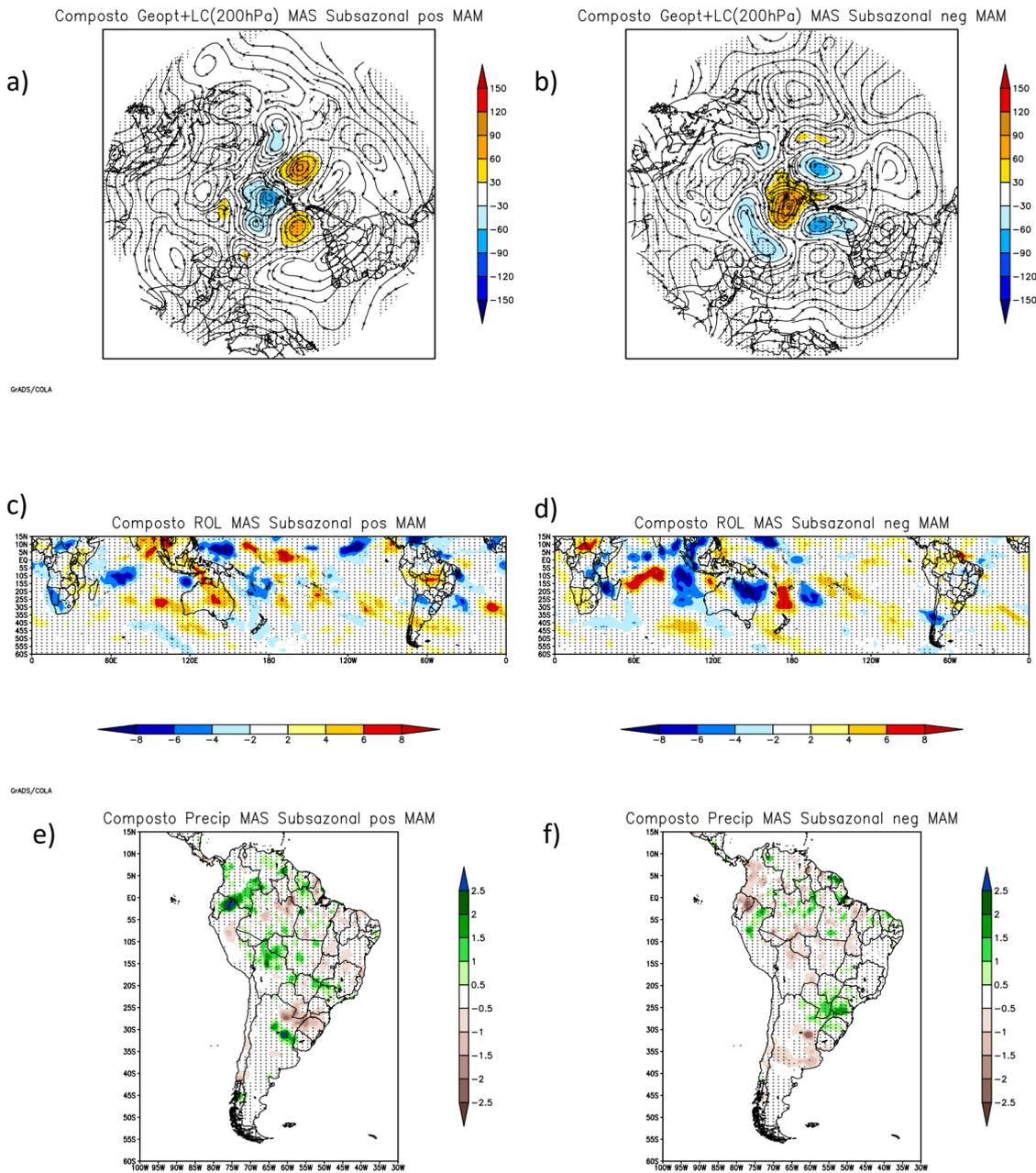
**Figura 5.18.** Compostos em MAM para T02. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



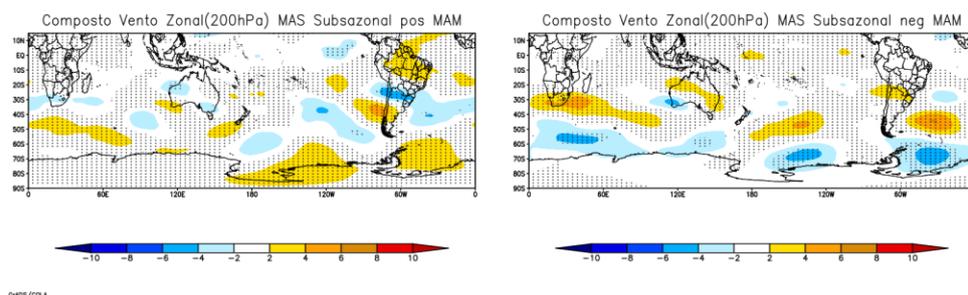
### **5.3.1.2.3 MAS**

É possível constatar o padrão anular do MAS, contudo na fase positiva o sinal sobre o oceano Índico é fraco (Figura 5.19). Evidencia-se também a oposição entre as fases nos dois compostos de anomalia de altura geopotencial. Ocorrem anomalias opostas na circulação em altos níveis, nos 2 casos, o que contribui para as anomalias de precipitação opostas observadas sobre a AS. Os compostos de anomalia do vento zonal em 200hPa, mostram a influência do padrão sobre as correntes de jatos em altos níveis (Figura 5.20).

**Figura 5.19.** Compostos em MAM para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância



**Figura 5.20.** Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para MAM.

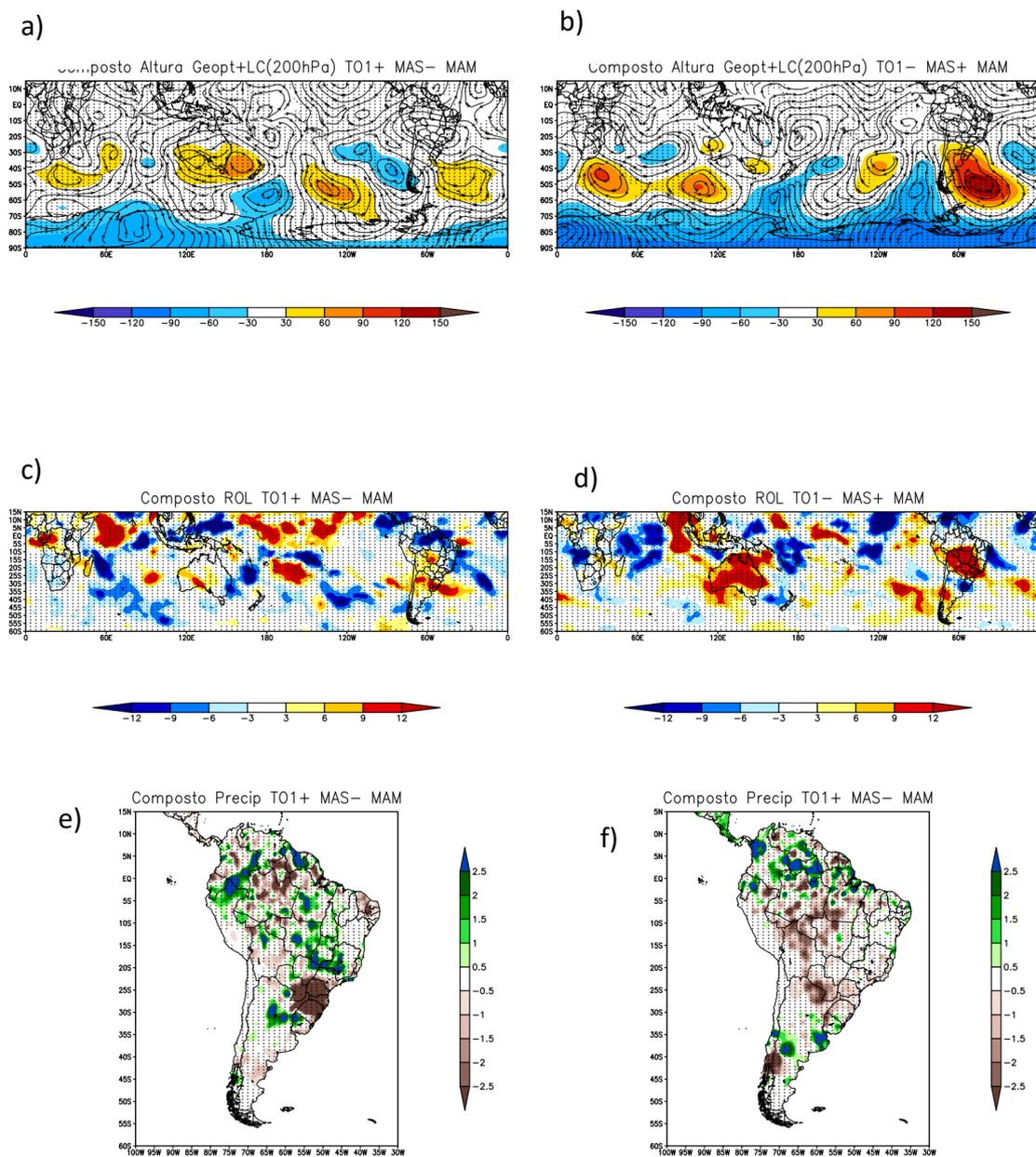


#### 5.3.1.2.4 Compostos de extremos simultâneos de TO1 e MAS

Para esse trimestre não houve casos simultâneos de fase positivas e negativas entre esses padrões, apenas entre fases opostas.

Comparando os compostos de TO1 positivo com MAS negativo (Figura 5.21 a, c, e), com os compostos individuais de cada padrão, apesar das anomalias de altura Geopotencial na região polar serem opostas ao TO1 isolado (Figura 5.17), o impacto na precipitação é mais intenso. Os campos simultâneos, embora com sinais opostos, mostram configurações semelhantes, afetando de maneira semelhante a precipitação.

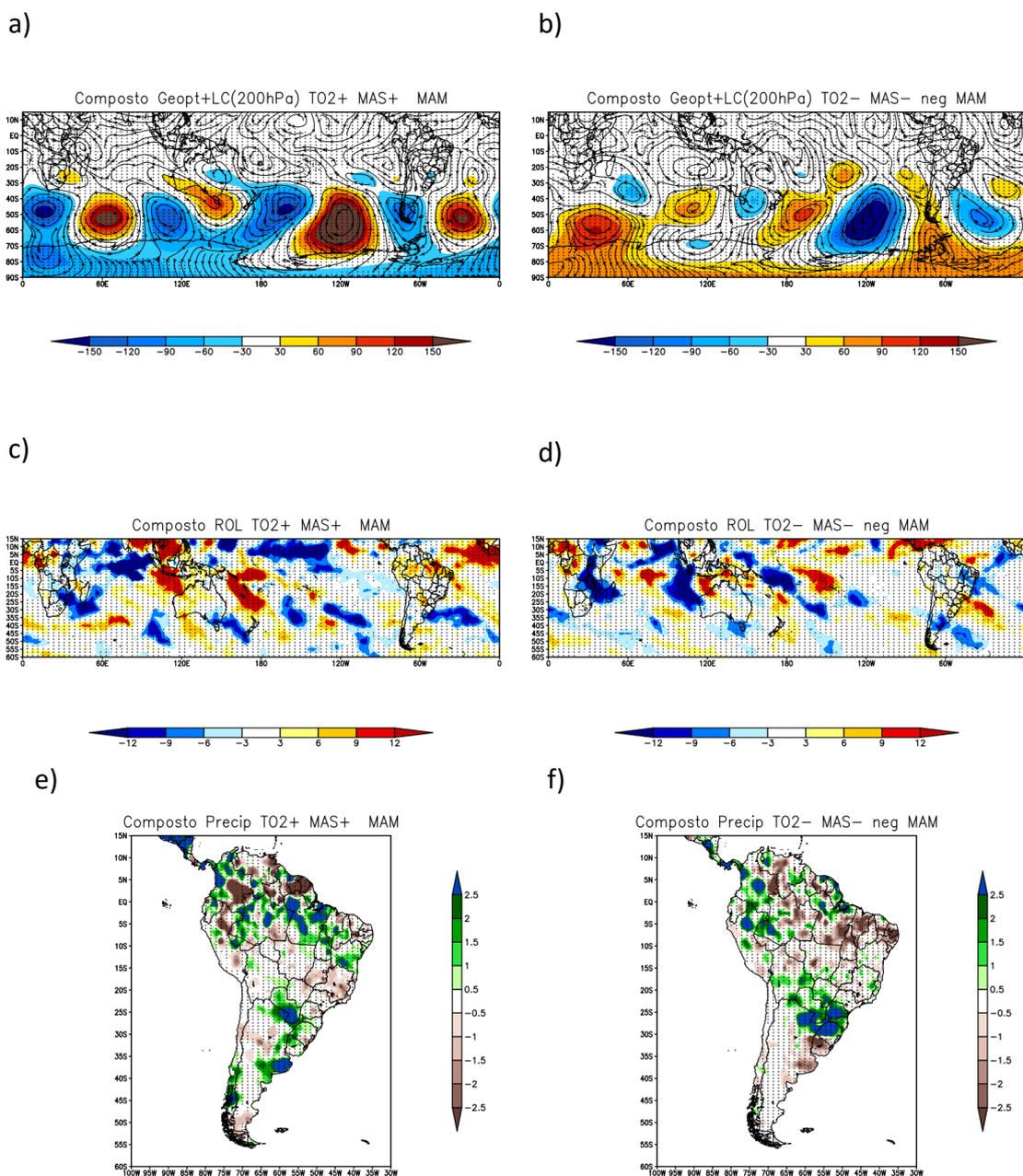
**Figura 5.21.** Compostos em MAM para casos simultâneos em fases opostas de TO1 e MAS Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



#### **5.3.1.2.5 Compostos de extremos simultâneos de TO2 e MAS**

É possível notar, que para ambas as fases das combinações dos padrões, há forte sinal de ambos (Figura 5.22), porém o sinal dos centros do TO2 no caso individual é oposto ao da combinação, indicando uma dominância do MAS. Na região polar, a característica maior é do MAS, e os centros do trem de ondas se estabelecem, mais intensos, do Pacífico até o Atlântico. Um cavado sobre o Atlântico Sudoeste, durante as fases negativas, favorece anomalias positivas de precipitação sobre o Norte da Argentina e sul do Brasil, por favorecer a ascensão do ar a leste do seu eixo, enquanto uma crista afeta o extremo sul da AS e contribui para as anomalias negativas observadas no leste da Argentina e Uruguai por favorecer movimento subsidente a leste do seu eixo. Nas fases positivas, há um cavado no extremo sul da AS e anomalias positivas de precipitação no Chile e leste da Argentina.

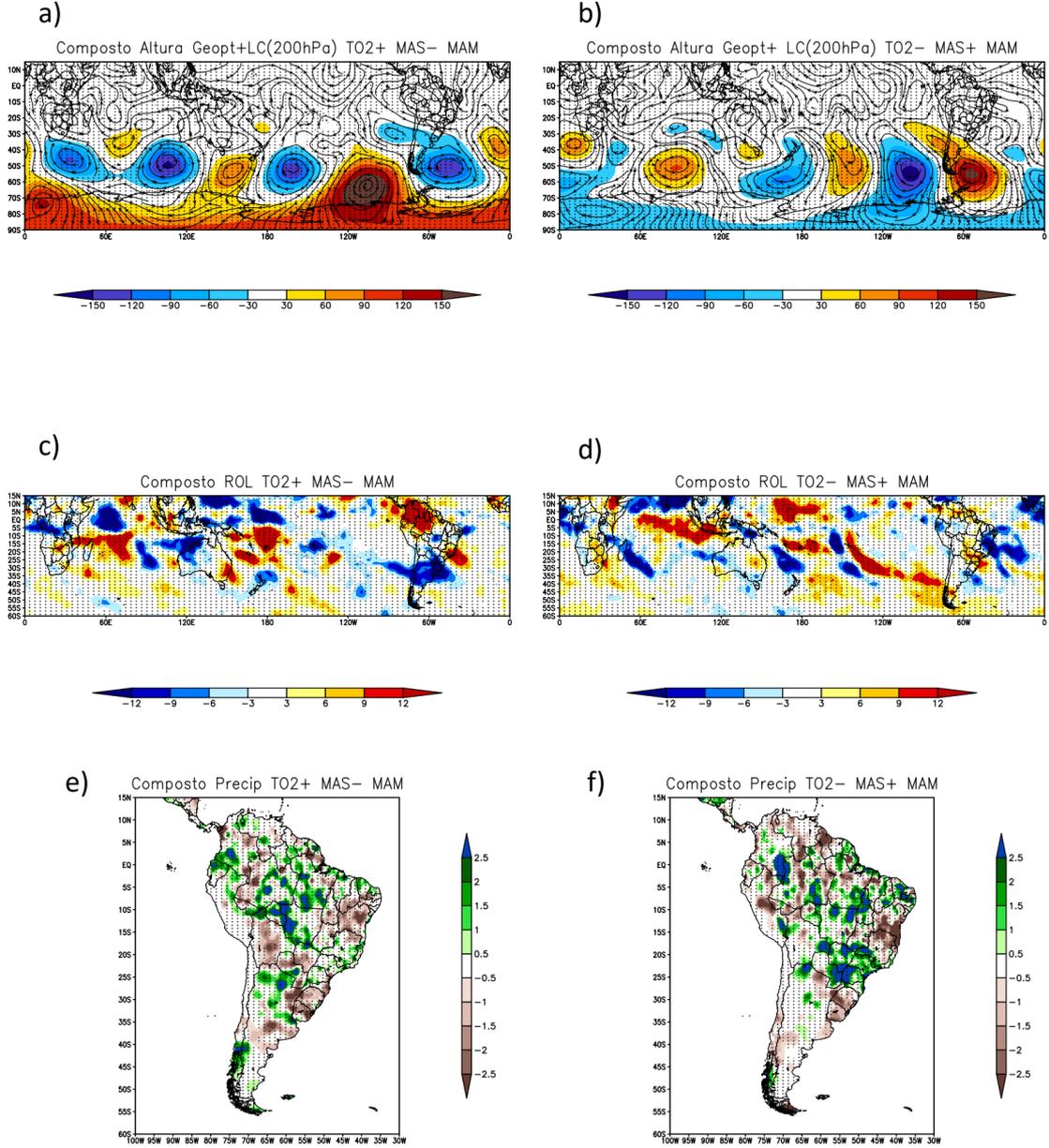
**Figura 5.22.** Compostos em MAM para casos simultâneos positivos e negativos de TO2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



A concomitância da fase positiva do TO2 com a fase negativa do MAS, mostra uma dominância do MAS (Figura 5.23). Na combinação oposta também há maior característica do sinal do MAS.

Assim como nos outros casos, os centros alternados do trem de ondas que se curva sobre a AS, contribui para as anomalias de precipitação observadas. O norte da Argentina apresenta anomalias positivas de precipitação, devido à presença de um cavado ao sul da AS, para TO2 positivo e MAS negativo.

**Figura 5.23.** Compostos em MAM para casos simultâneos em fases opostas de TO2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



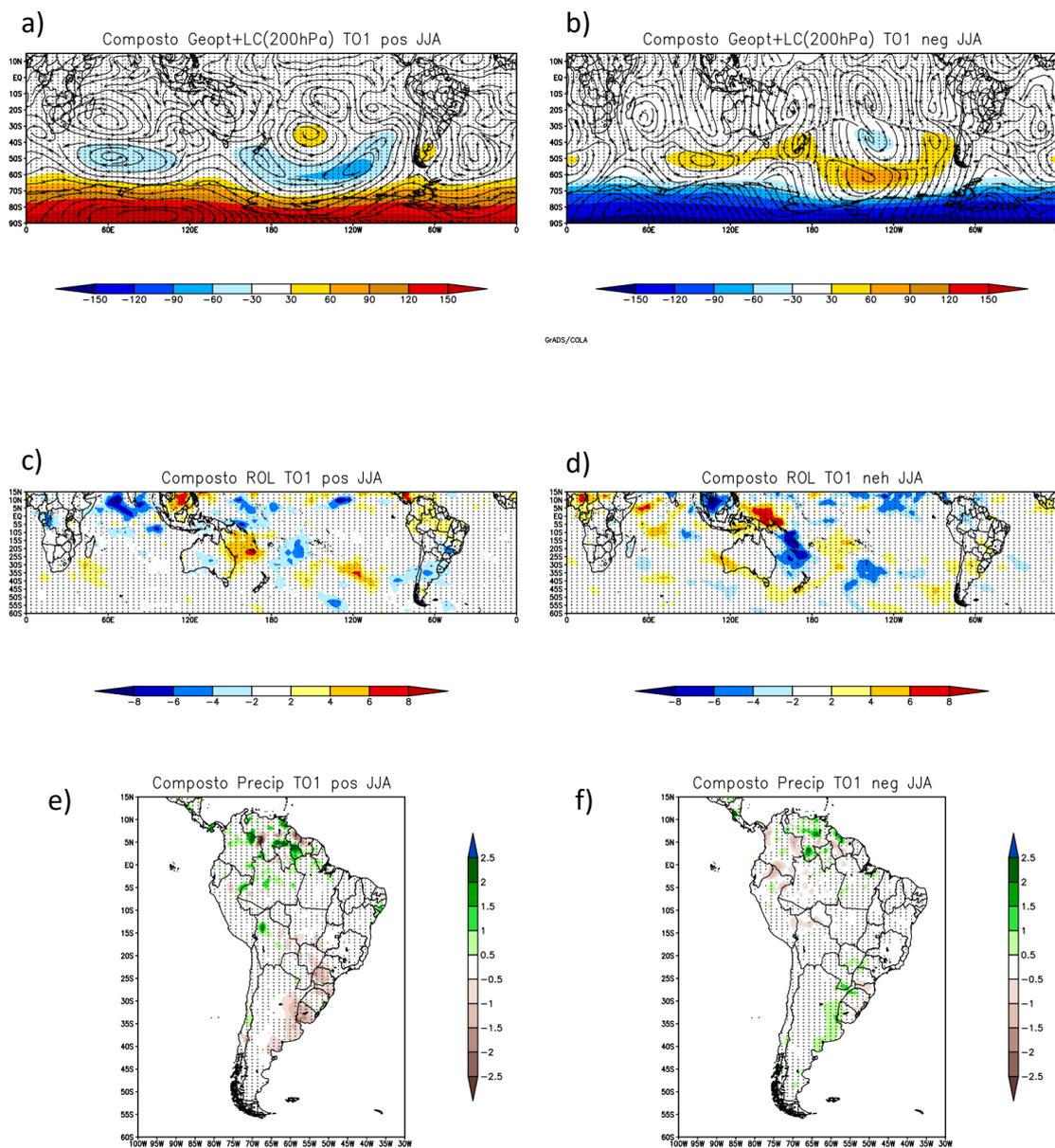
### **5.3.1.3 JJA**

#### **5.3.1.3.1 T01**

É verificado que os compostos de anomalia de altura geopotencial em 200hPa (Figura 5.24 a, b) não representam bem o padrão de trem de onda, como nas estações anteriores. A fase positiva apresenta uma característica de fase negativa do MAS, e a fase negativa apresenta característica de fase positiva de MAS.

Há predominância de anomalias negativas de precipitação no SEAS na fase positiva do T01, consistente com anomalia anticiclônica no sul da AS e anomalias positivas na fase negativa, consistente com um cavado a sudeste da AS.

**Figura 5.24.** Compostos em JJA para TO1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.

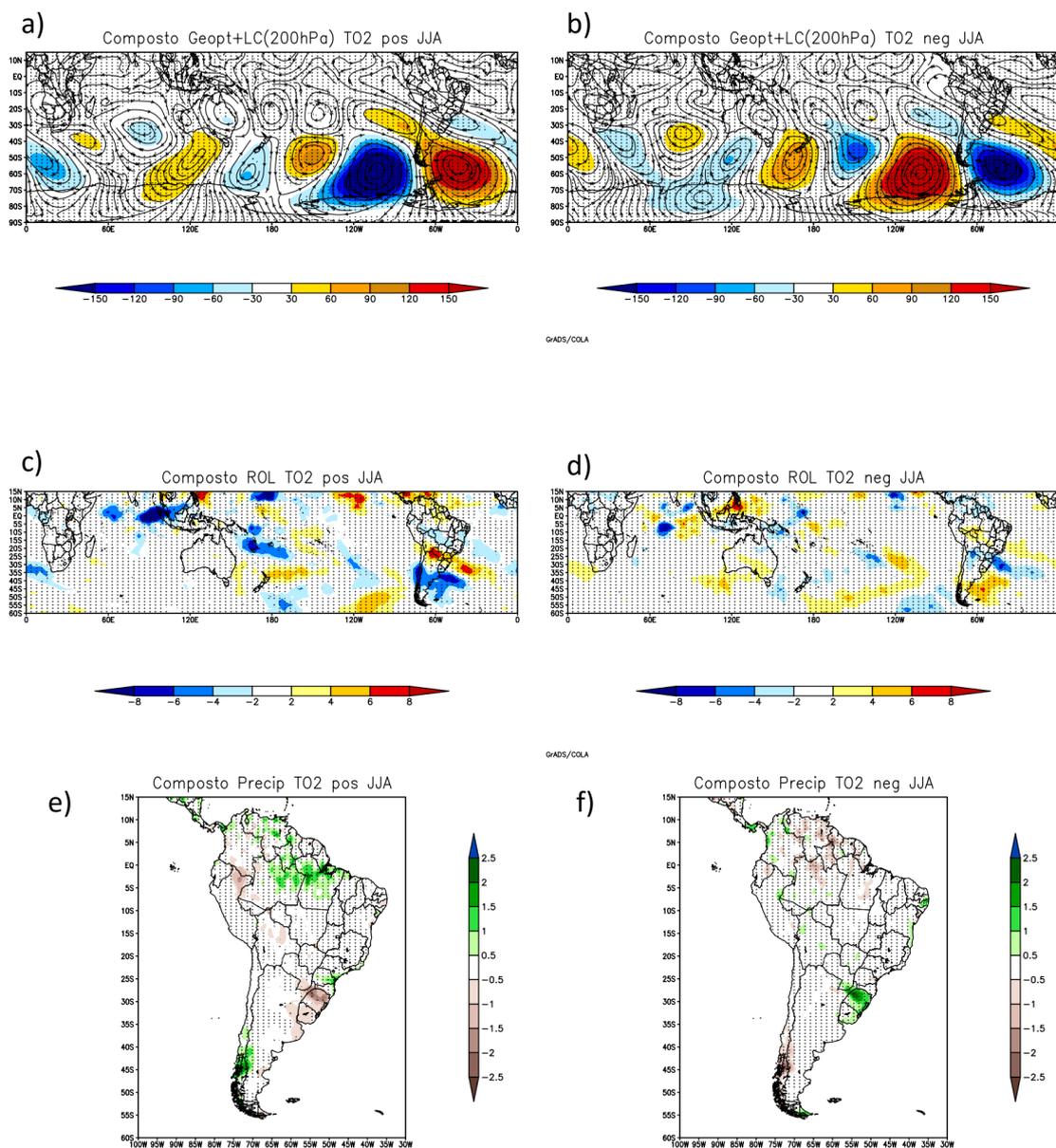


### **5.3.1.3.2 TO2**

O composto de anomalia de altura Geopotencial apresenta um padrão de onda 4 zonal bem caracterizado em ambas as fases (Figura 5.25 a, b). Na circulação nota-se, em torno de 20°-30°S, a formação de outro trem de ondas sobre o Pacífico, chegando até a AS. Padrão similar ao encontrado por Muller e Ambrizzi (2007).

Sobre o Atlântico Sul, observa-se na fase positiva, um padrão característico de um bloqueio dipolo com uma circulação ciclônica próxima ao SEAS e uma anticiclônica mais a sul. Isso sugere um enfraquecimento da passagem de sistemas transientes oriundo de latitudes mais altas. Na fase negativa, é notado o oposto. Nota-se, também, que durante esse trimestre o impacto sobre a precipitação ocorre sobre o Chile, Uruguai e Rio Grande do Sul, com anomalias opostas nas duas fases.

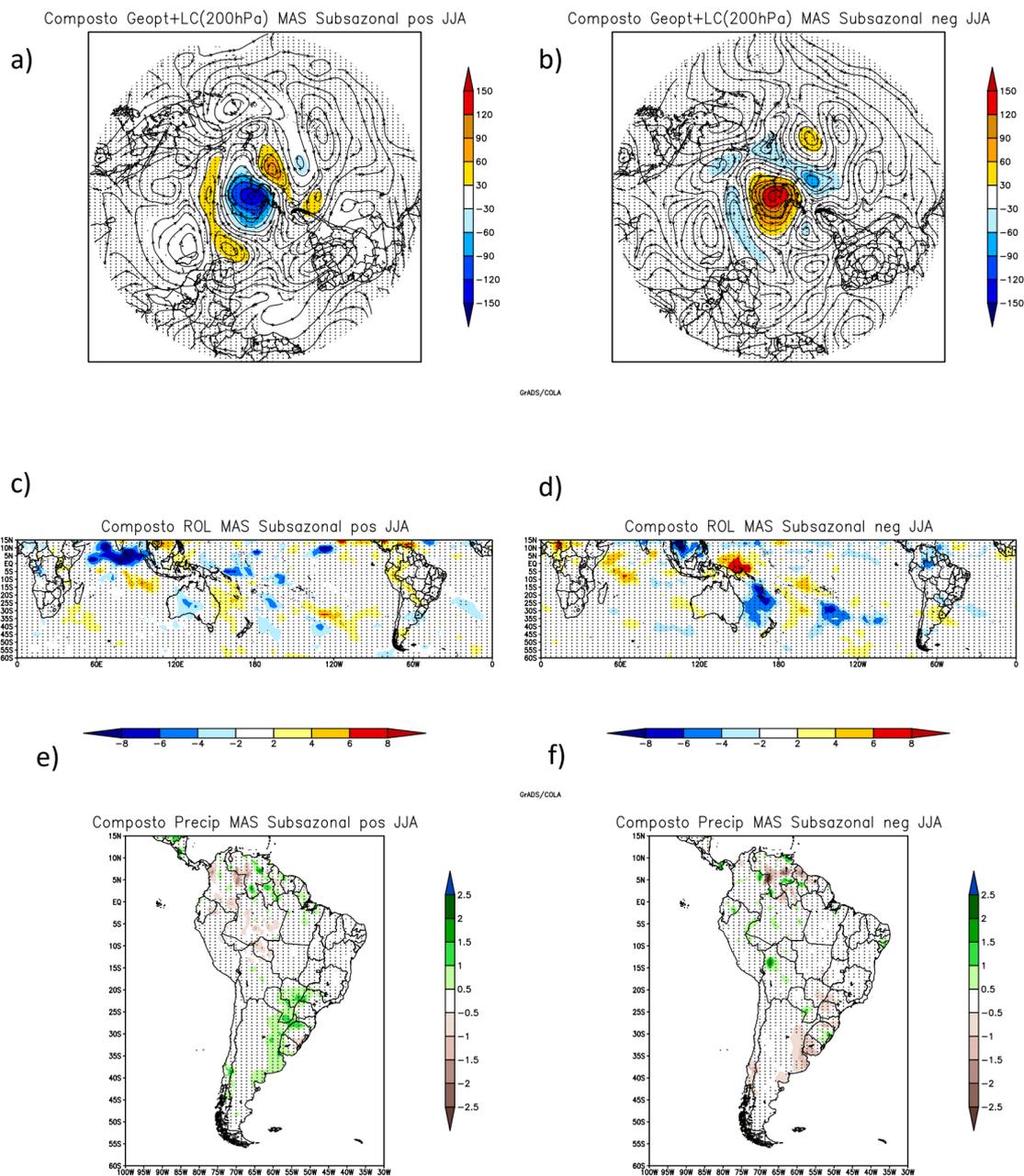
**Figura 5.25.** Compostos em JJA para TO2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados Teste de significância t-student, com 99% de significância.



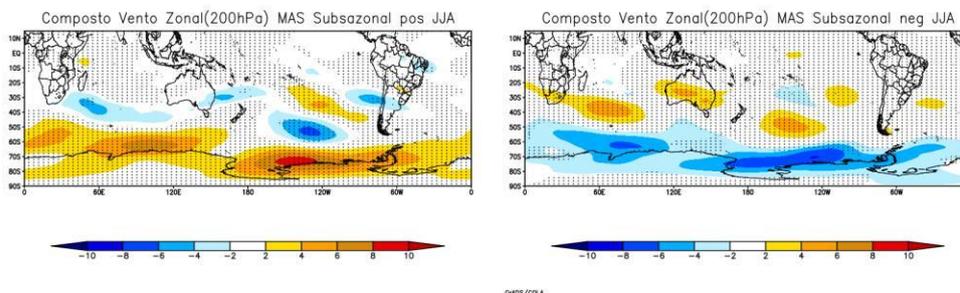
### **5.3.1.3.3 MAS**

As anomalias de linhas de corrente e de altura geopotencial mostram um padrão aproximadamente anular para as duas fases do MAS (Figura 5.26 a, b). Nas anomalias de ROL, no Pacífico Oeste, é possível observar, em ambas as fases, um sinal similar ao da OMJ. São observadas anomalias de precipitação com sinais opostos entre as duas fases no Chile, leste da Argentina, Uruguai e parte do sul e centro-oeste do Brasil. Nos compostos de anomalia do vento zonal, nota-se que em JJA, o impacto sobre as correntes de jato é mais intenso (Figura 5.27).

**Figura 5.26.** Compostos em JJA para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



**Figura 5.27.** Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para JJA.



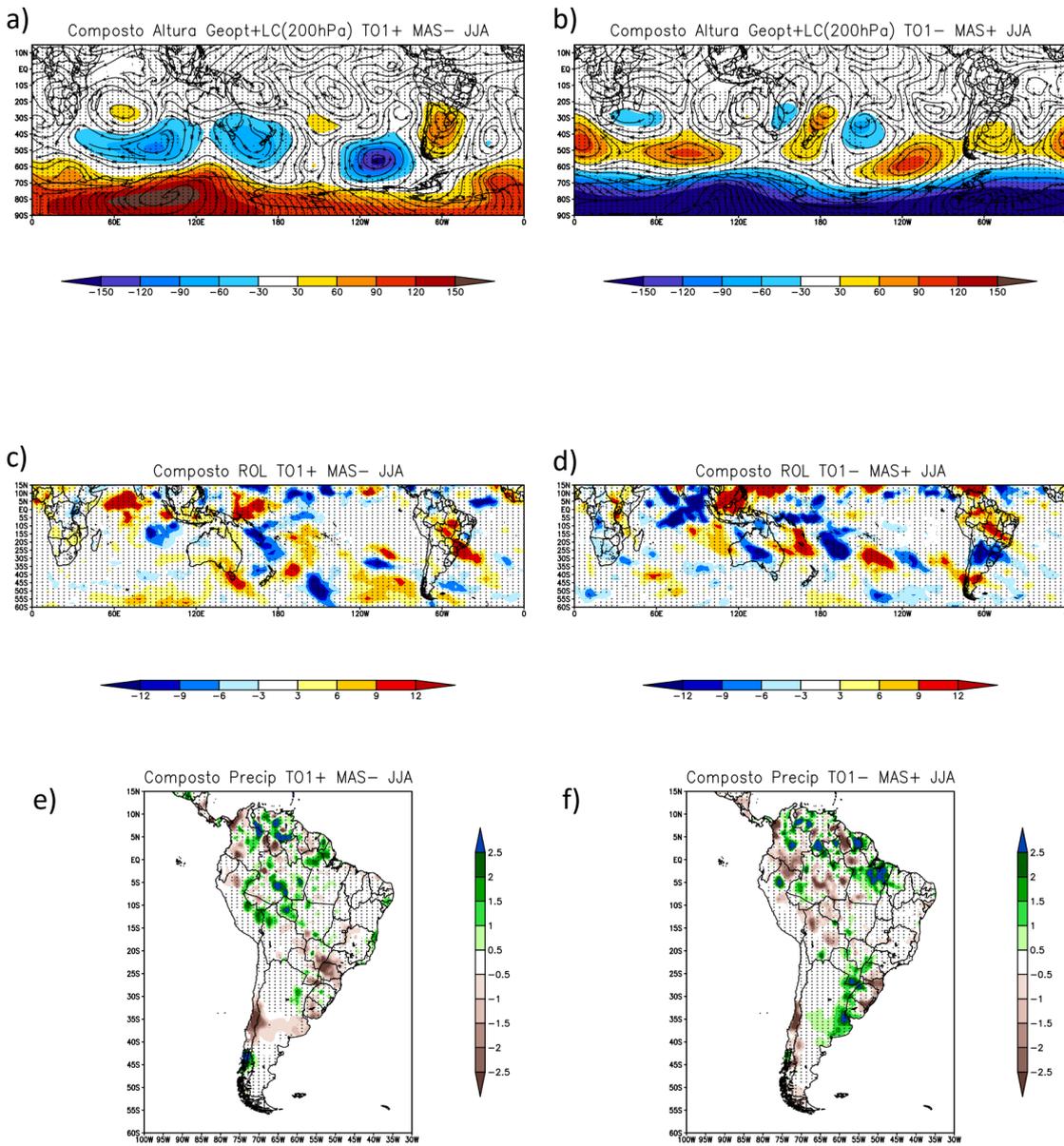
#### 5.3.1.3.4 Compostos de extremos simultâneos de TO1 e MAS

Para a simultaneidade do TO1 e MAS só foram identificados casos em que as fases são opostas, ou seja, TO1 positivo, MAS negativo e vice-versa.

Para o caso de TO1 positivo com MAS negativo, observa-se que o sinal do MAS é mais dominante, o composto de anomalia de altura geopotencial mostra um padrão de MAS negativo bem marcante (Figura 5.28 a, b). Uma circulação anticiclônica anômala sobre a parte sul da AS dificulta a formação e passagem de sistemas transientes sobre a região, diminuindo a precipitação a qual nessa época do ano é climatologicamente ocasionada pela passagem desses sistemas. Esse resultado é corroborado pelos compostos de ROL e Precipitação.

Para a combinação oposta, uma ligeira oposição entre as fases é notada, porém, a anomalia anticiclônica ainda é presente sobre o sul da AS para TO1 negativo e MAS positivo. Nota-se, no composto de anomalia de ROL, sobre o SEAS, forte anomalia negativa e no composto de anomalia de precipitação anomalias positivas no setor oeste dessa região.

**Figura 5.28.** Compostos em JJA para casos simultâneos em fases opostas de TO1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.

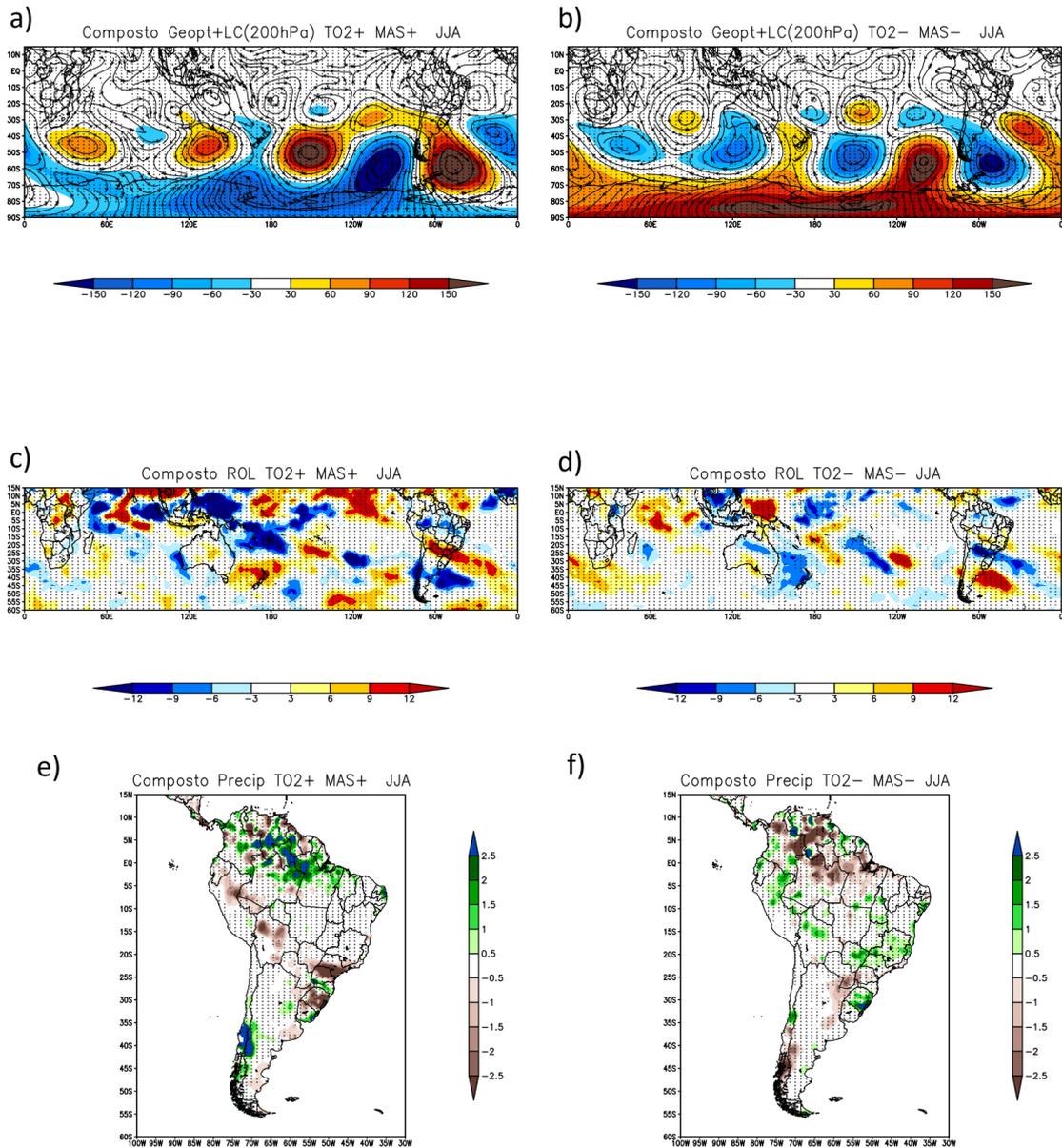


### **5.3.1.3.5 Compostos de extremos simultâneos de TO2 e MAS**

Para as fases de mesmo sinal dos padrões, verifica-se que há uma sobreposição dos modos e uma oposição de fase entre os padrões TO2 e MAS (Figura 5.29 a, b). Há a característica do MAS em latitudes polares e médias, mas também se observa o TO2 em latitudes médias.

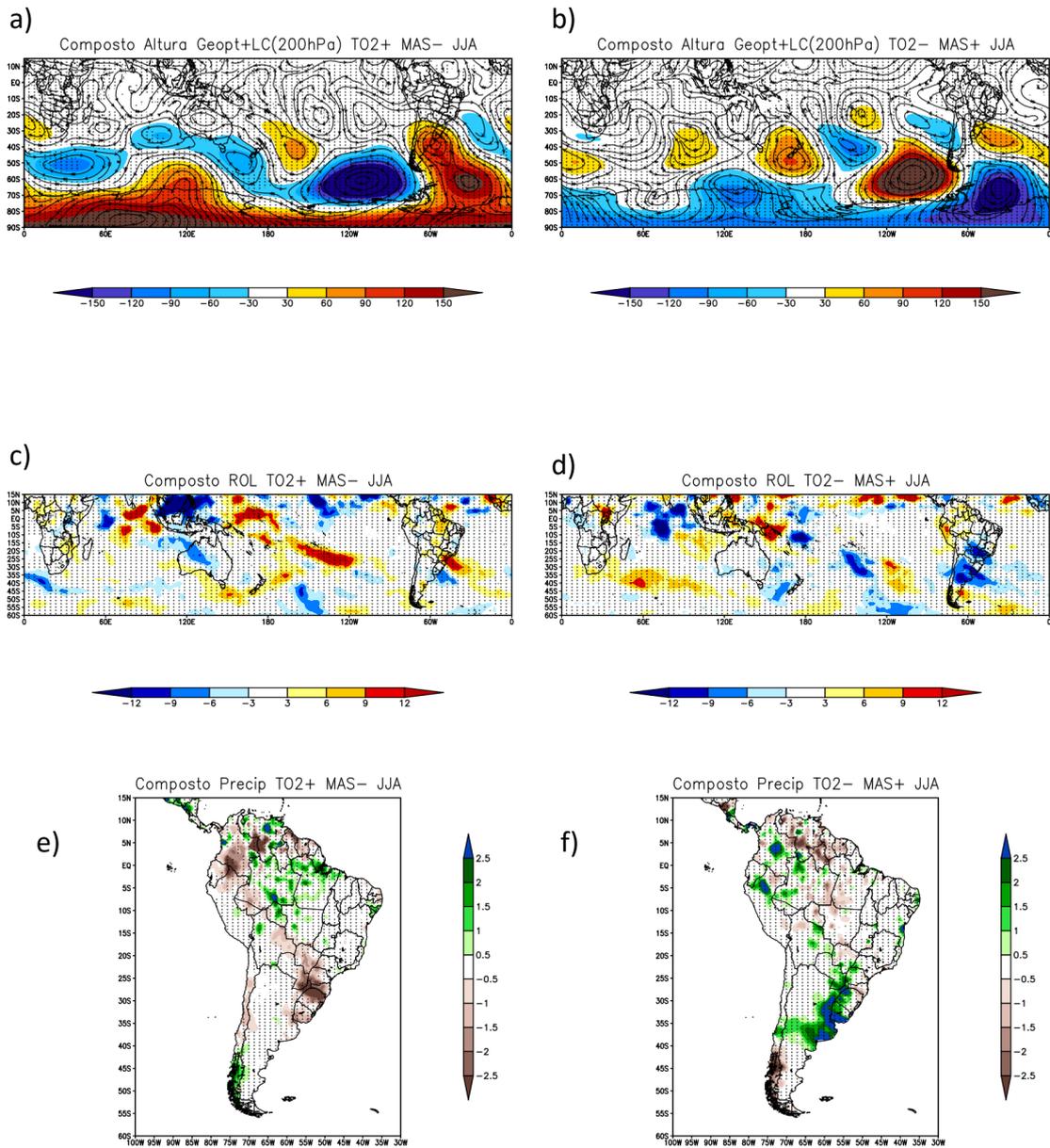
Nas fases positivas de TO2 e MAS, a presença de um cavado na circulação anômala, a sudoeste da AS, reflete em anomalias negativas de ROL e positivas de precipitação sobre a região da Patagônia chilena. No composto de ROL, em concomitância, observa-se um dipolo de ROL entre o Chile/Argentina e a região sul do Brasil, que pode ser consequência do cavado a oeste da Patagônia chilena e uma crista a leste da Patagônia argentina. Isso também é observado nas anomalias de precipitação (Figura 5.29 e, f). Para a combinação das fases negativas, observa-se o oposto. Também se nota oposição de precipitação entre as duas combinações em parte do sul e sudeste do Brasil e norte da AS. Essas oposições em regiões tropicais da AS podem ser relacionadas a diferenças na circulação nos dois compostos simultâneos.

**Figura 5.29.** Compostos em JJA para casos simultâneos positivos e negativos de TO2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



Para as combinações de fases opostas dos padrões, é identificada uma intensificação das anomalias (Figura 5.30). O composto de anomalia de altura geopotencial e linhas de corrente para o caso TO2 positivo e MAS negativo mostra forte circulação anticiclônica sobre o SEAS (Figura 5.30 a), que gera uma anomalia positiva de ROL (Figura 5.30 c) e negativa de precipitação (Figura 5.30 e), conforme mostrado nos compostos das mesmas. A presença das anomalias negativas de geopotencial a sudoeste da AS intensifica a precipitação no Chile. Aproximadamente o oposto pode ser verificado para a outra combinação.

**Figura 5.30.** Compostos em JJA para casos simultâneos em fases opostas de T02 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.

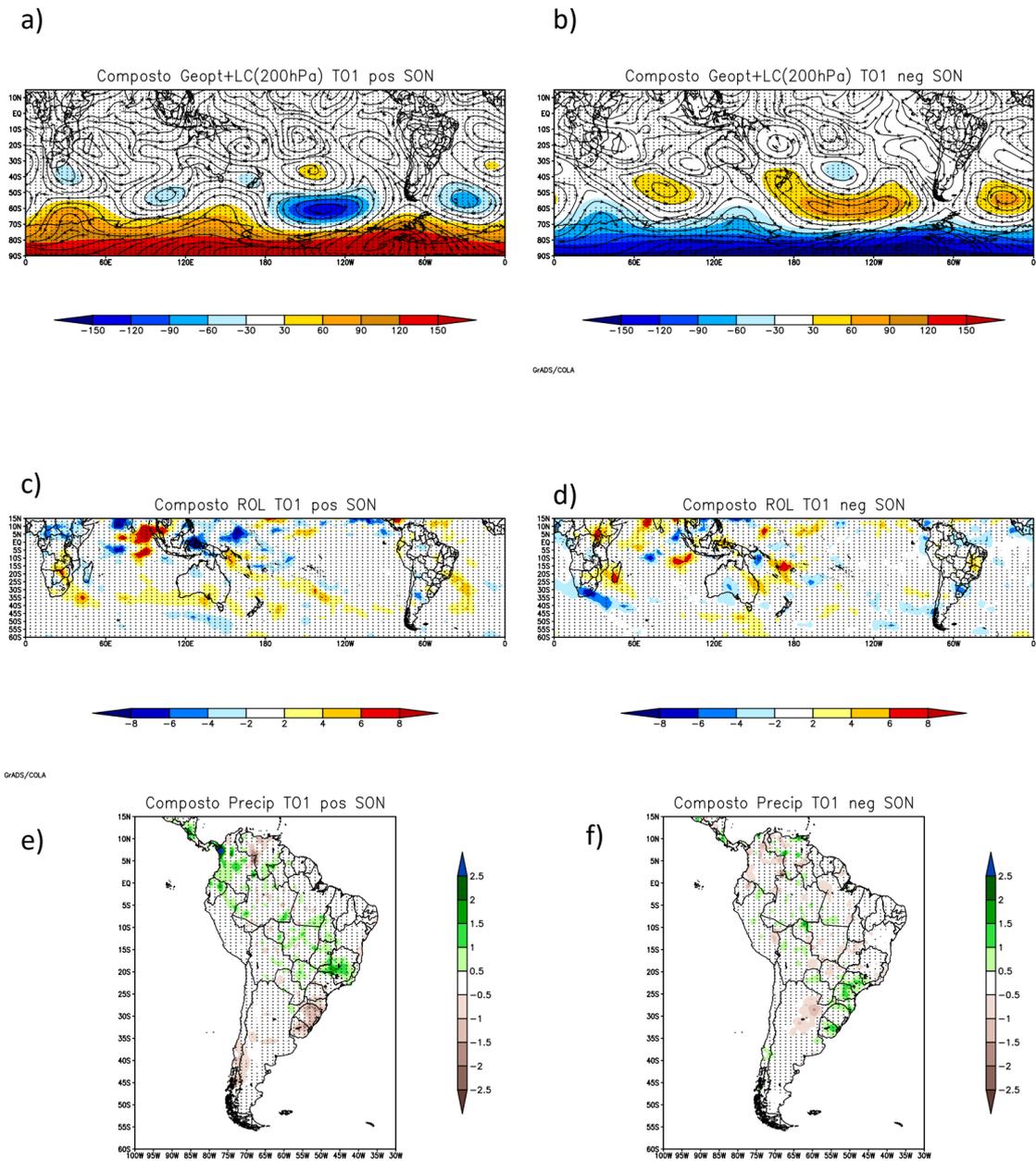


#### **5.3.1.4 SON**

##### **5.3.1.4.1 TO1**

Assim como em JJA o sinal do TO1 em SON é bem fraco e assemelha-se ao sinal da fase oposta do MAS (Figura 5.31 a, b). Entretanto ainda pode se notar a influência dos 4 centros de ação próximo à AS, com a crista (cavado) ao sul e sobre o sul da AS influenciando a precipitação sobre o sul do Brasil com anomalias negativas (positivas).

**Figura 5.31.** Compostos em SON para T01. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



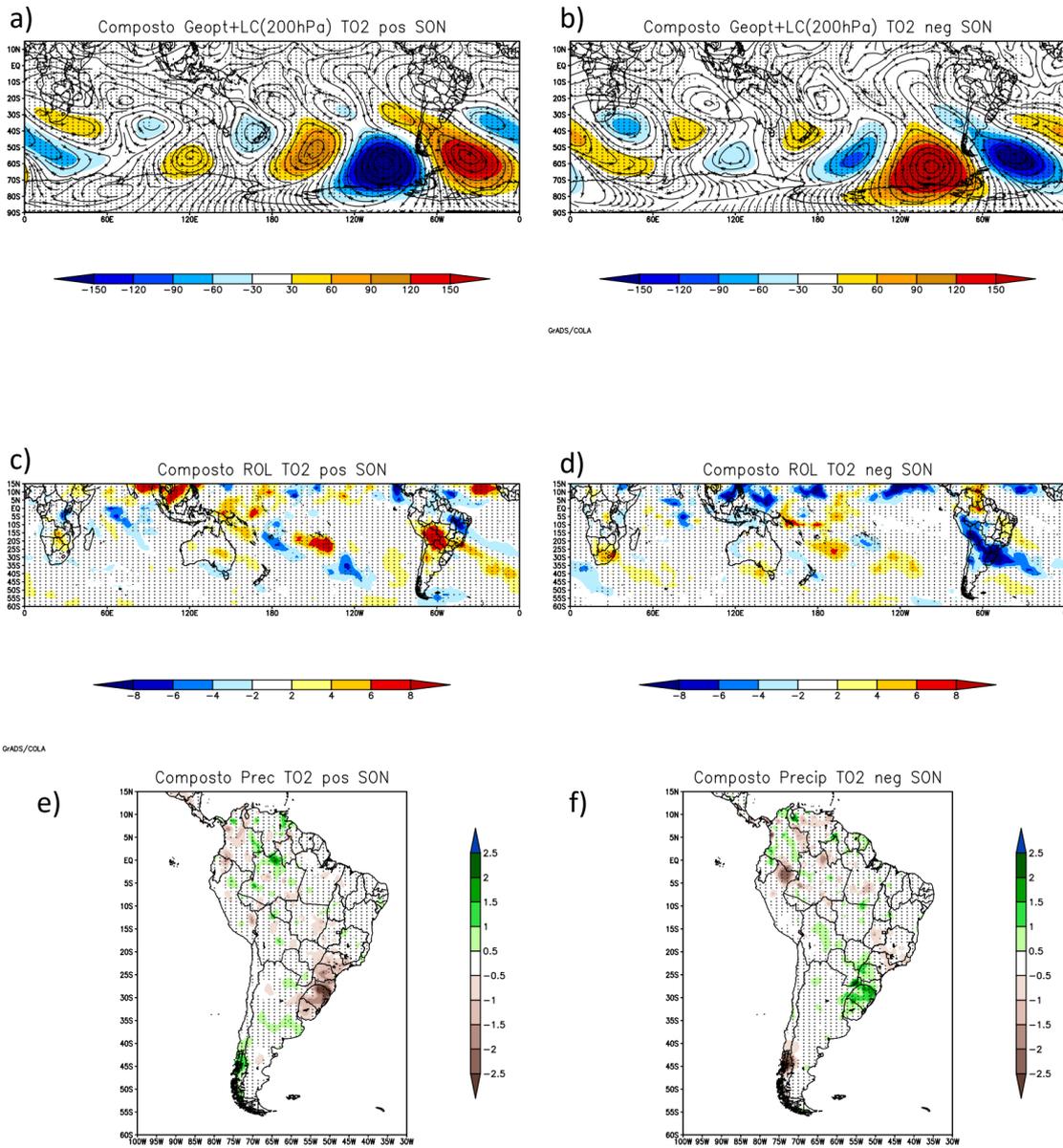
#### **5.3.1.4.2 TO2**

Para esse trimestre, nota-se um TO2 bem definido, intercalando cavados e cristas com sinais mais intensos nos centros próximos a AS, sendo, a fase negativa, oposta à fase positiva (Figura 5.32 a, b).

Uma circulação anticiclônica no Atlântico Sul implica em uma anomalia positiva de ROL sobre a região central da AS, mais precisamente sobre a Bolívia, Paraguai e regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (Figura 5.32 c, d). Conseqüentemente uma anomalia fraca de precipitação é apresentada (Figura 5.32 e, f). Um cavado no Pacífico Sudeste favorece anomalias positivas de precipitação sobre sul do Chile. Na fase negativa, é observado o oposto.

Observa-se também, a oposição entre as anomalias de precipitação sobre a Região Sul do Brasil, onde na fase positiva há forte anomalia negativa, e na fase negativa o oposto é encontrado.

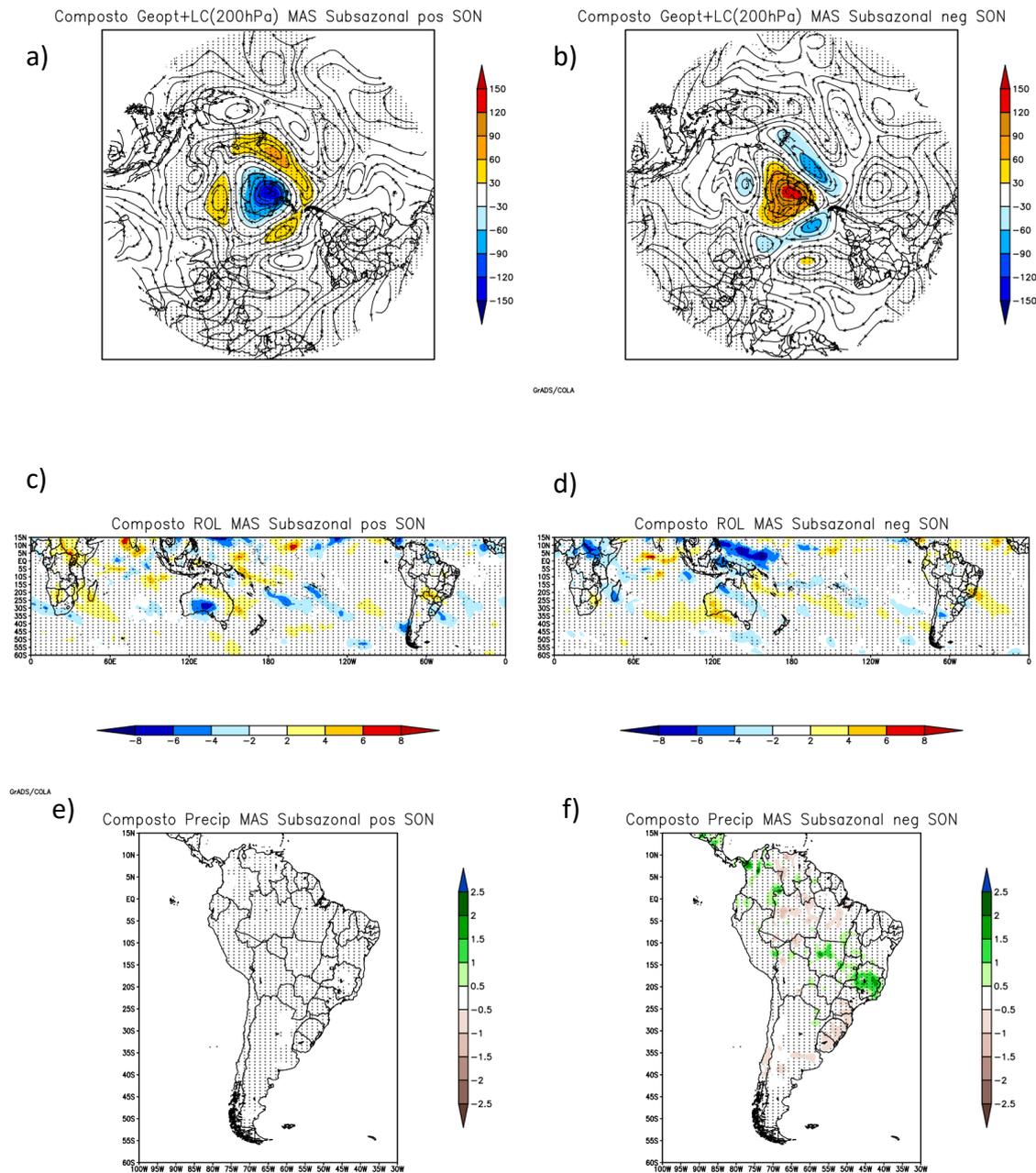
**Figura 5.32.** Compostos em SON para T02. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



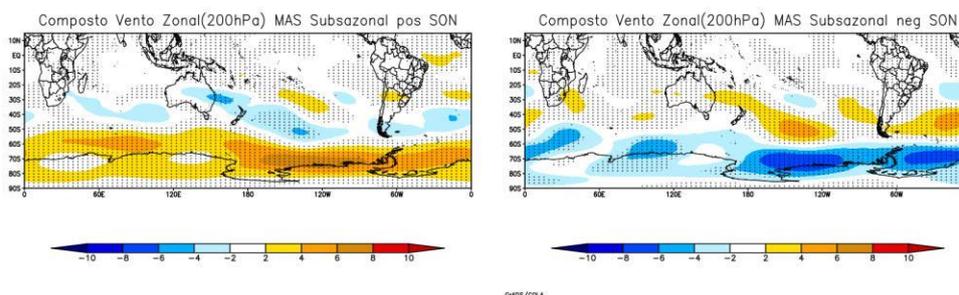
#### **5.3.1.4.3 MAS**

O MAS para esse trimestre possui um padrão bem definido em ambas as fases, com anomalias em latitudes médias aproximadamente anular (Figura 5.33 a, b). Entretanto, as influências sobre a AS são bem fracas. Na fase positiva, por exemplo, não apresenta influências sobre a anomalia de precipitação e fraca influência sobre a anomalia de ROL. Na fase negativa o impacto sobre a ROL e a precipitação é maior que na fase positiva. Sobre o vento zonal, ambas as fases ainda apresentam forte influência sobre as correntes de jatos (Figura 5.34), assim como em JJA (Figura 5.27).

**Figura 5.33.** Compostos em SON para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



**Figura 5.34.** Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para SON.

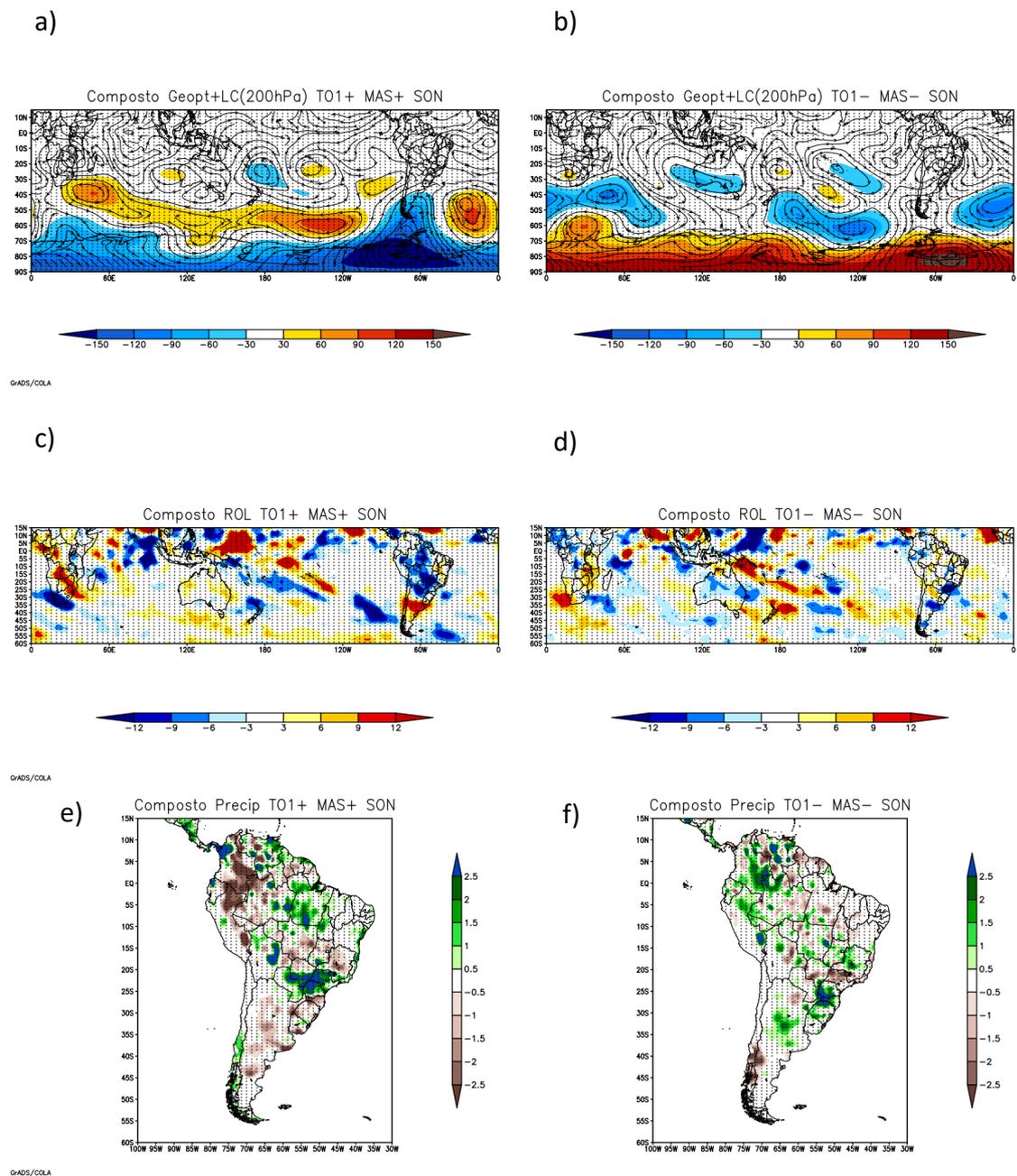


#### 5.3.1.4.4 Compostos de extremos simultâneos de TO1 e MAS

Diferente do trimestre de JJA, SON apresentou apenas casos de simultaneidade entre fases de mesmo sinal para a combinação TO1 e MAS.

Os compostos de anomalia de altura geopotencial e linhas de corrente em 200hPa, em ambas as fases, mostra uma predominância do padrão do MAS, com alguma oposição entre os centros de ação das fases (Figura 5.35 a, b). Na combinação das fases positivas é possível notar a presença de uma circulação ciclônica anômala ao sul da AS que pode estar favorecendo a ocorrência das anomalias positivas, observadas nos compostos de precipitação (Figura 5.35 e, f), sobre a região de divisa entre as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, o que conseqüentemente reflete na anomalia de ROL (Figura 5.35 c, d). Na fase negativa é possível observar o oposto tanto na circulação quanto nas anomalias de ROL e precipitação. Nota-se também a oposição nas anomalias de precipitação no Chile e no noroeste da AS.

**Figura 5.35.** Compostos em SON para casos simultâneos positivos e negativos de TO1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.

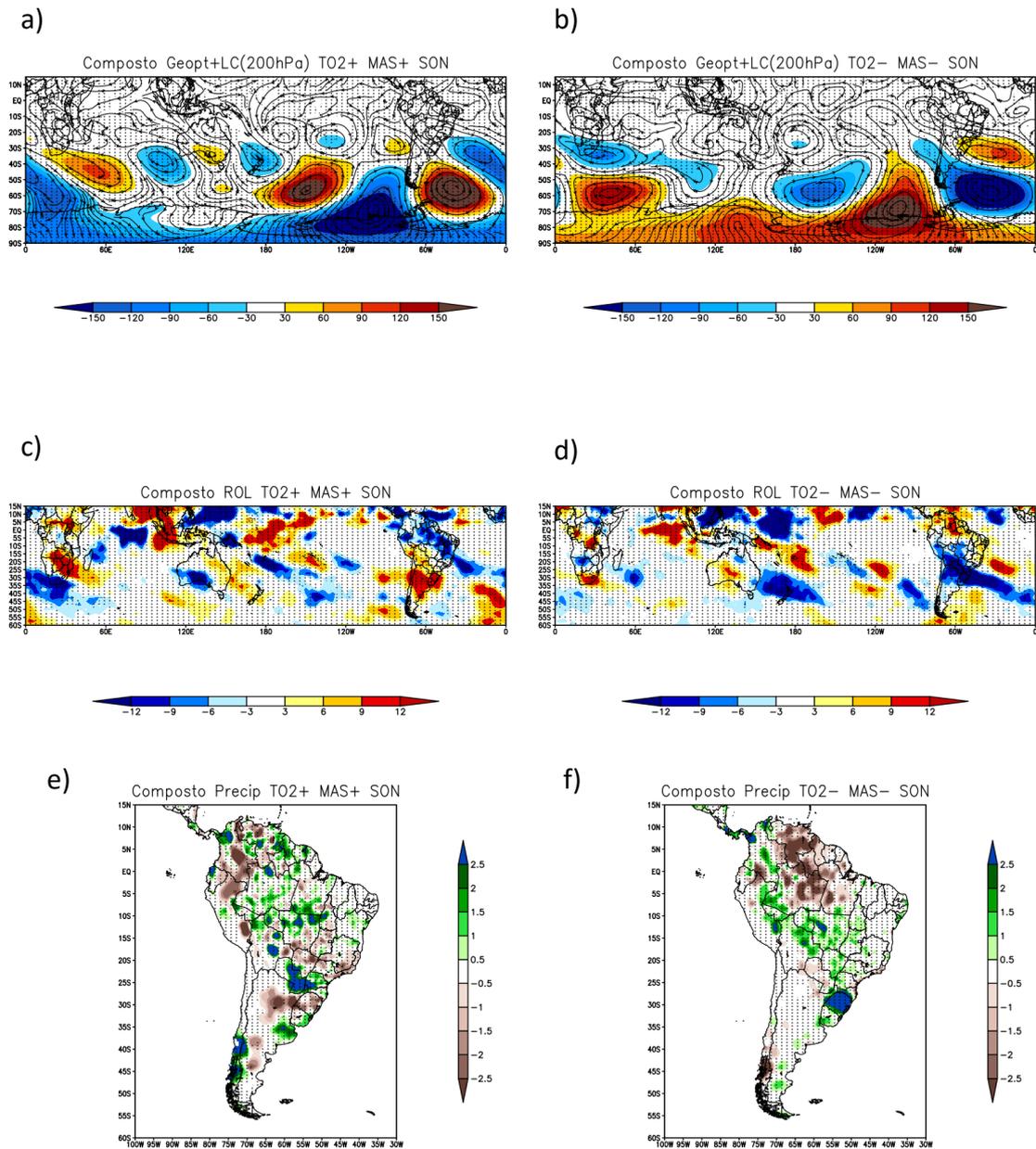


#### **5.3.1.4.5 Compostos de extremos simultâneos de TO2 e MAS**

Com relação às fases de mesmo sinal do TO2 e do MAS, atenta-se para uma coexistência dos dois padrões, que pode ser observado nos compostos de altura geopotencial e linhas de corrente, e um segundo trem de ondas, centrado em torno da latitude de 20°S (Figura 5.36 a, b). Esse trem de ondas em 20°S mostra uma circulação anticiclônica próxima à costa do Chile e associada a uma circulação de um cavado sobre o Atlântico Sul, parece gerar uma confluência em altos níveis no norte da Argentina, e conseqüentemente um movimento subsidente na região. Essa configuração ocorre associada à forte anomalia positiva de ROL mostrada pelo composto e uma anomalia negativa de precipitação, forçadas pelo movimento subsidente oriundo da confluência em altos níveis (Figura 5. 36 c, d).

Nas fases positivas, um cavado sobre o Atlântico Sul favorece a ocorrência de uma faixa de anomalia negativa de ROL, que indicaria um favorecimento da ocorrência mais a norte da ZCAS, embora o campo de precipitação não mostre essa influência. Na fase negativa é notado que ocorre o oposto da outra combinação, onde um cavado mais a sul, favorece a ocorrência desse alinhamento das anomalias negativas de ROL mais para sul. As posições opostas do cavado e crista próximos ao sul da AS contribuem para as precipitações opostas observadas no Chile e Sul do Brasil.

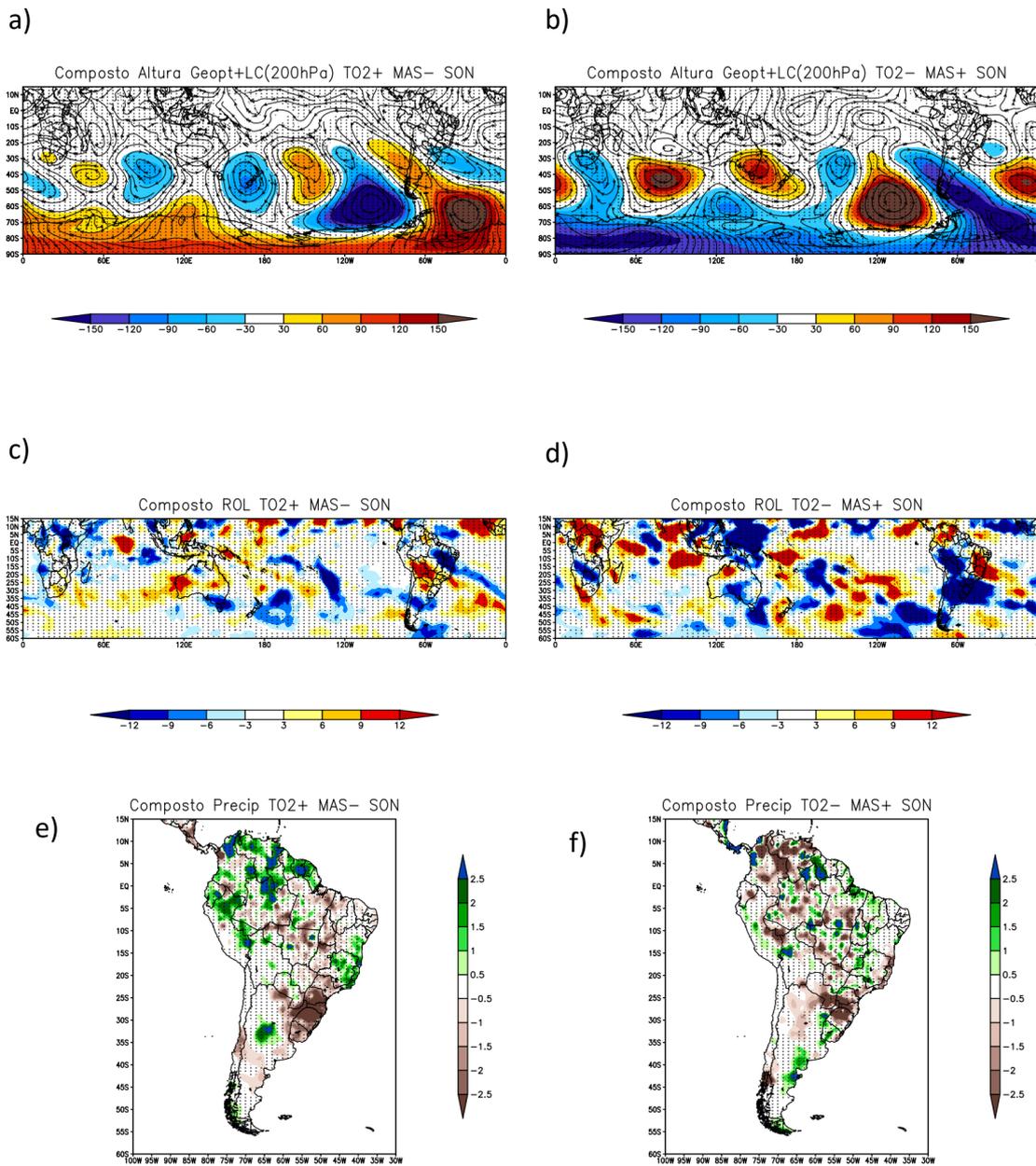
**Figura 5.36.** Compostos em SON para casos simultâneos positivos e negativos de TO2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



Quando há a combinação de fases opostas, observa-se a coexistência do sinal de ambos os padrões (Figura 5.37). Para a combinação de TO2 positivo e MAS negativo, a presença de uma circulação anticiclônica sobre o sul da Argentina ocasiona intensas anomalias negativas de precipitação sobre a região Sul e sul da região Sudeste do Brasil. Uma circulação ciclônica localizada sobre a SEAS, favorece a precipitação acima da média sobre o norte do Sudeste e sobre o sul do Nordeste do Brasil. Essa análise é corroborada pelas anomalias de ROL.

Pelo fato de o dado de precipitação ser uma interpolação de dados de estação em superfície, e os de ROL serem obtidos por satélite, são notadas algumas diferenças. Isso pode ser notado na combinação TO2 negativo e MAS positivo, onde há forte anomalia negativa de ROL no SEAS, e anomalia negativa de precipitação sobre a região Sul do Brasil.

**Figura 5.37.** Compostos em SON para casos simultâneos em fases opostas de T02 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



Essas análises mostram que em cada trimestre os padrões se comportam de maneira diferente. O trimestre com maior impacto é o de DJF, impactando principalmente a porção sul da AS, incluindo a região sul do Brasil. Constata-se que os compostos simultâneos possuem maior intensidade do que os compostos de cada padrão individualmente, principalmente sobre a precipitação, indicando uma ação conjunta dos modos de variabilidade.

### 5.3.2 Variabilidade intrassazonal

Conforme mencionado anteriormente, essa escala foi calculada para o intervalo de 45 a 90 dias. Nessa escala de tempo, a FOE foi aplicada para a região do Oceano Pacífico para ressaltar o padrão PAS. Entretanto, os compostos foram feitos para todo o hemisfério.

A Tabela 5.5 apresenta o total de casos utilizados nos compostos, para cada padrão em cada trimestre. Para os casos simultâneos, foram escolhidos os 10 casos com as maiores amplitudes, devido à variação entre o número de casos de cada fase dos padrões.

**Tabela 5.5:** Total de casos utilizados nos compostos, para cada padrão e cada trimestre.

TOTAL DE CASOS				
	DJF	MAM	JJA	SON
MAS POS	87	79	84	68
MAS NEG	79	76	76	56
PAS1 POS	80	74	68	84
PAS1 NEG	71	49	72	82
PAS2 POS	50	72	79	75
PAS2 NEG	71	82	79	51

**Tabela 5.6:** Total de casos utilizados nos compostos simultâneos, para cada padrão e cada trimestre.

TOTAL DE CASOS				
	DJF	MAM	JJA	SON
MAS POS/ PAS1 POS	10	10	10	10
MAS POS/ PAS1 NEG	10	10	10	10
MAS NEG /PAS1 NEG	10	10	10	10
MAS NEG /PAS1 POS	10	10	10	10
MAS POS /PAS2 POS	10	10	10	10
MAS POS /PAS2 NEG	10	10	10	10
MAS NEG /PAS2 NEG	10	10	10	10
MAS NEG /PAS2 POS	10	10	10	10

### 5.3.2.1 DJF

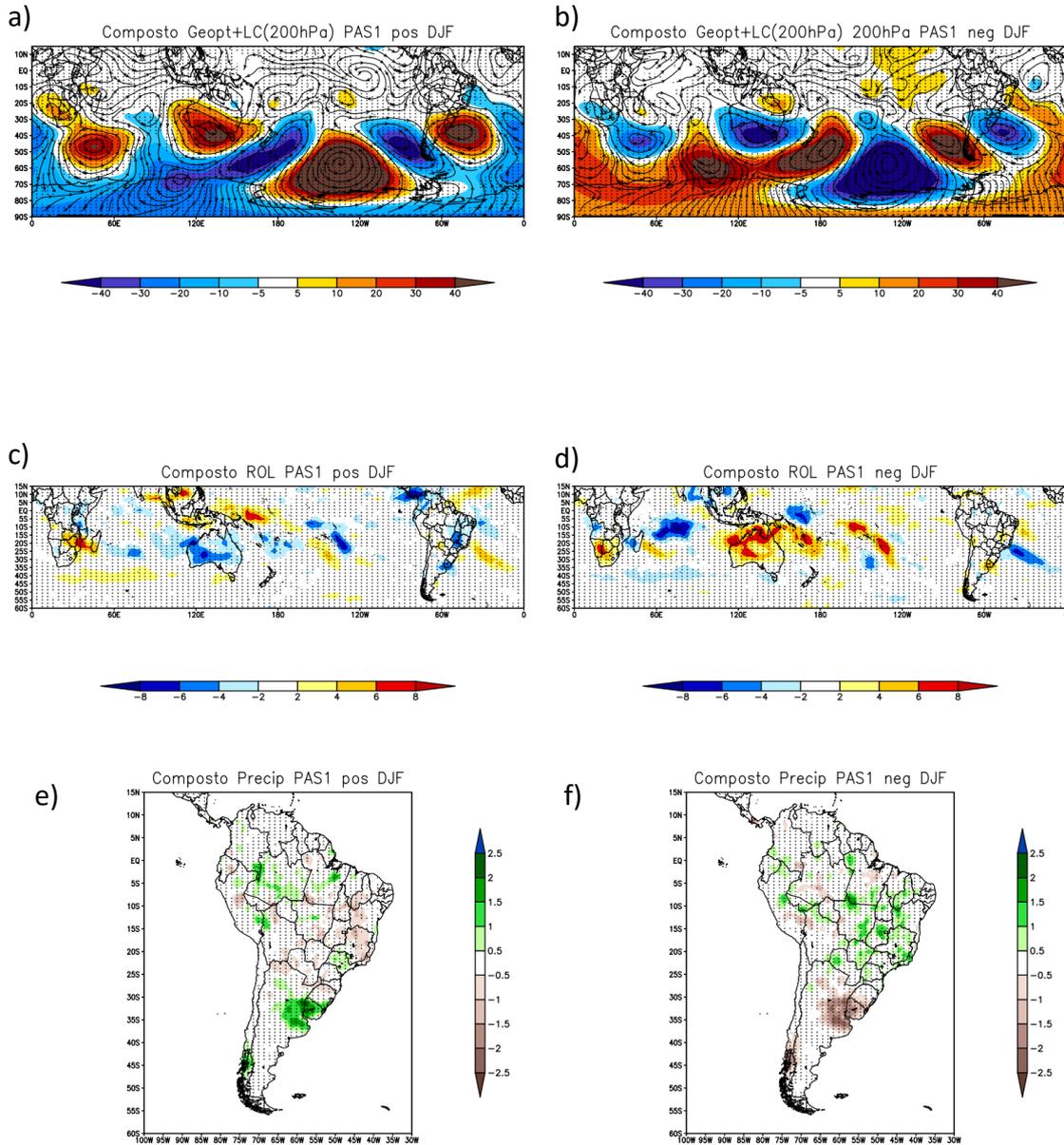
#### 5.3.2.1.1 PAS1

Os compostos de anomalia de altura geopotencial e linhas de corrente mostram um padrão de onda, de número de onda 4, bem definido em ambas as fases (Figura 5.38 a, b). Desde a Austrália até a AS, é caracterizado o padrão PAS, alternando entre cristas e cavados. Nota-se também nessa banda de variabilidade os centros intensos próximo à 120° W nas duas fases.

Durante a fase positiva (negativa) desse padrão, observa-se uma circulação ciclônica (anticiclônica) próxima ao sul da AS, que favorece anomalias positivas (negativas) de precipitação sobre o sul do Chile e o sul da Bacia do Prata. Percebe-se, também, na fase positiva (negativa), uma circulação ciclônica (anticiclônica) anômala sobre a região onde climatologicamente encontra-se a Alta da Bolívia. Isso sugere que há um enfraquecimento (fortalecimento) dessa circulação na fase positiva (negativa). Essa condição, associada à presença da circulação anticiclônica (ciclônica) sobre o SEAS, favorece a diminuição

(aumento) da precipitação no período monçônico da AS, observado no campo de anomalias de precipitação.

**Figura 5.38.** Compostos em DJF para PAS1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



### 5.3.2.1.2 PAS2

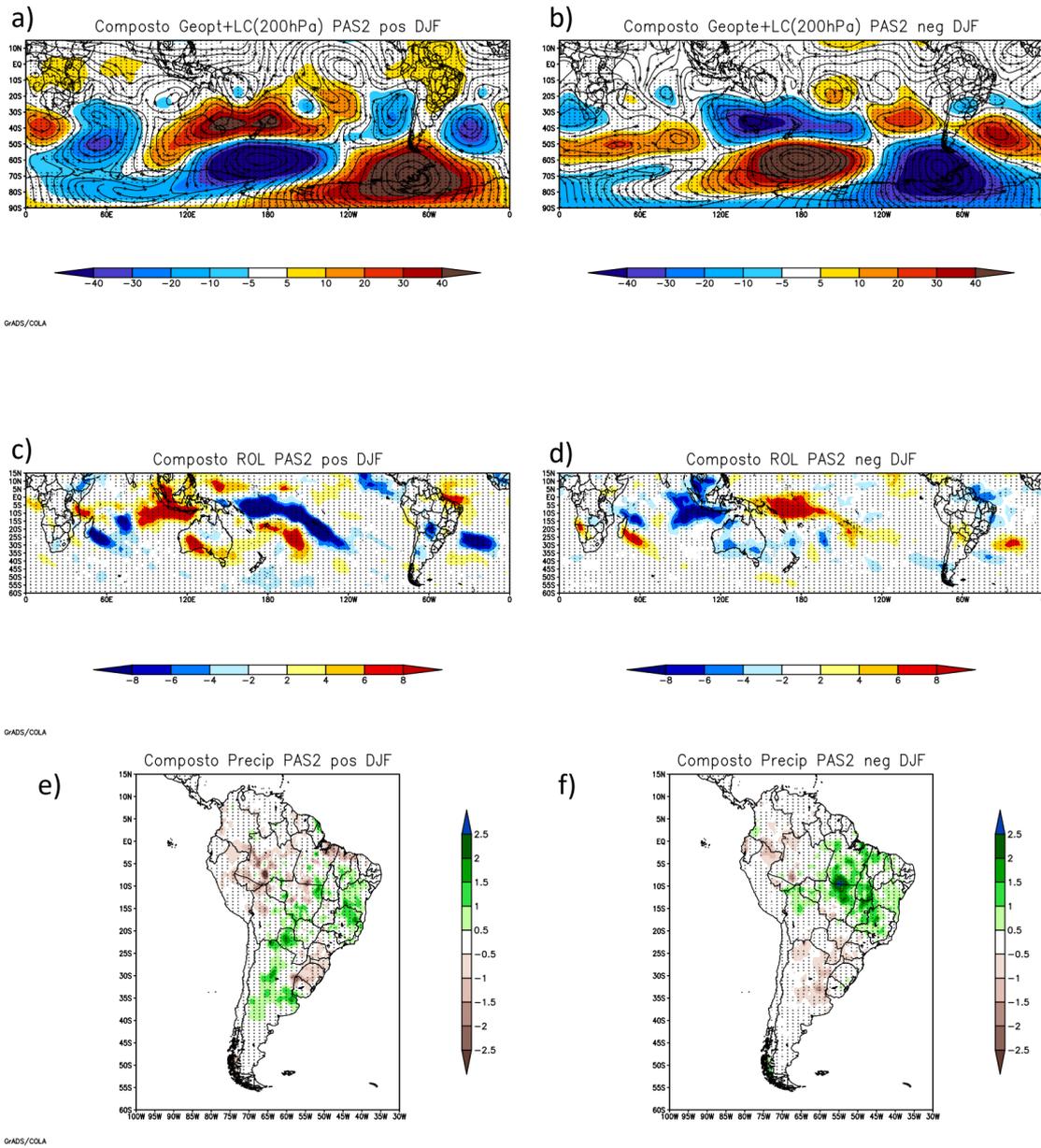
Esse padrão também apresenta configuração tipo PAS, em quadratura com o PAS1, ou seja, com uma diferença de fase de  $90^\circ$ , conforme mostrado no composto de anomalia de altura Geopotencial (Figura 5.39 a, b). Além da configuração do PAS, uma circulação ciclônica (anticiclônica) próxima à costa do Chile, induz a uma anomalia positiva (negativa) de precipitação durante a fase positiva (negativa), sobre a Argentina.

Apesar de haver anomalia de precipitação positiva em partes da região de monção, as diferenças na circulação promovem uma intensificação da precipitação no caso negativo. Percebe-se, que durante a fase negativa, há uma banda de anomalia positiva de precipitação desde o sul do Pará até o sul de Minas Gerais, enquanto na fase positiva as anomalias de precipitação, que também se apresentam nessa área, não apresentam esse tipo de organização. Essa banda, apresentada na fase negativa, é favorecida devido a uma circulação ciclônica posicionada sobre o SEAS e um fortalecimento da circulação da Alta da Bolívia.

As anomalias de precipitação (Figura 5.39 e, f) opostas entre a fase positiva e negativa sobre a Argentina e o Chile são influenciadas pelas anomalias positivas de geopotencial ao sul da AS na fase positiva, e anomalias negativas de geopotencial nessa região, na fase negativa. Essa configuração faz com que os sistemas sinóticos tenham que se deslocar ao norte da anomalia positiva de altura geopotencial, na fase positiva, e mais a sul, favorecidos pelas anomalias negativas de geopotencial na fase negativa. Essa configuração é coerente com as anomalias de precipitação.

No campo de anomalias de ROL (Figura 5.39 c, d), há uma configuração típica da OMJ sobre a região da Indonésia/ Oceano Pacífico Oeste.

**Figura 5.39.** Compostos em DJF para PAS2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



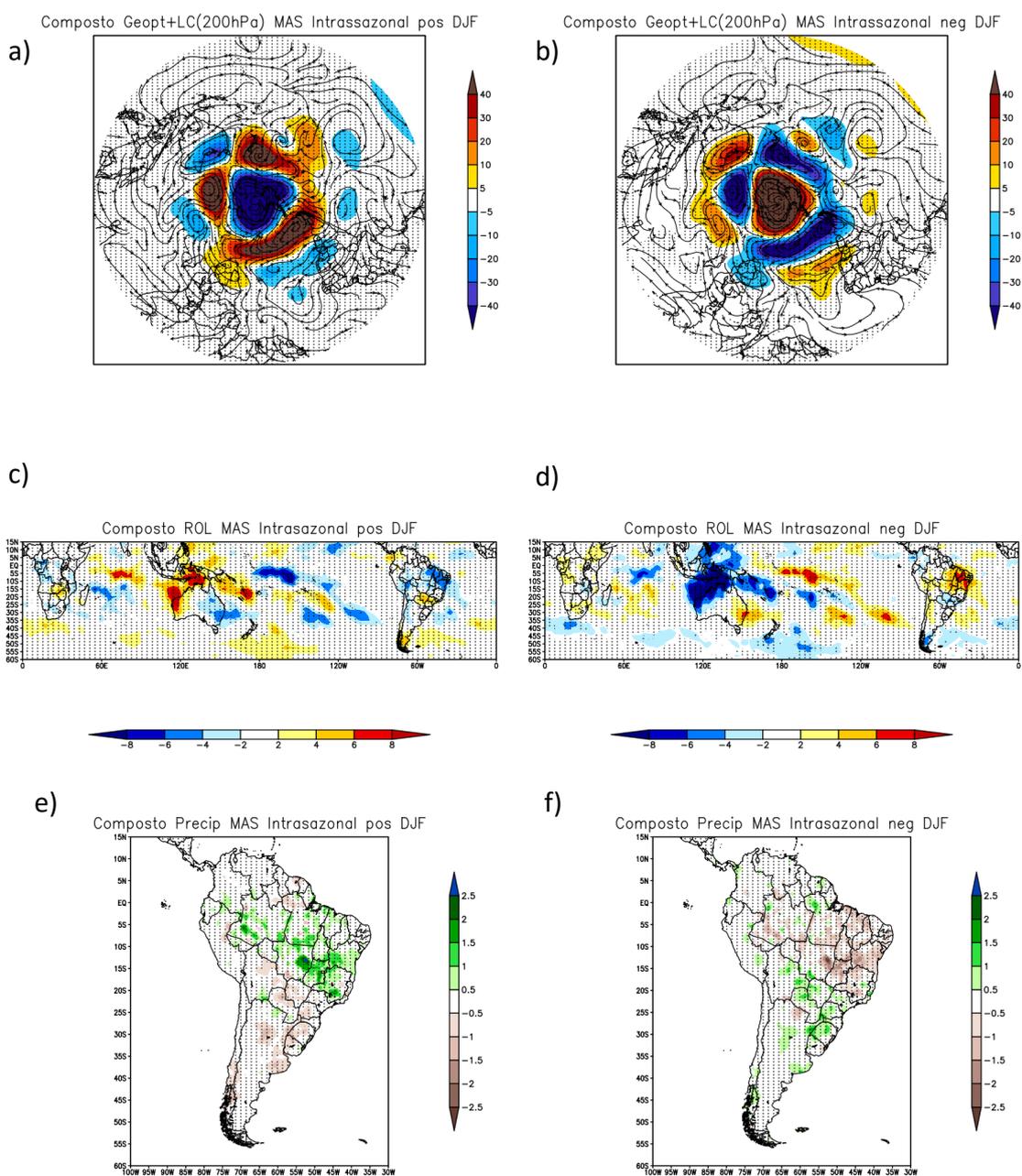
### 5.3.2.1.3 MAS

O MAS nessa frequência apresenta seu padrão anular característico em ambas as fases, em que nota-se um padrão de onda número 3, diferente da banda subsazonal de 10 a 30 dias que apresentava onda 4 em DJF (Figura 5.40 a, b). Percebe-se na fase positiva (negativa) uma fraca anomalia negativa (positiva) de altura Geopotencial sobre o SEAS. Essas anomalias, associadas às anomalias positivas (negativas), em latitudes médias do padrão, favorece um enfraquecimento (fortalecimento) da corrente de jato subtropical.

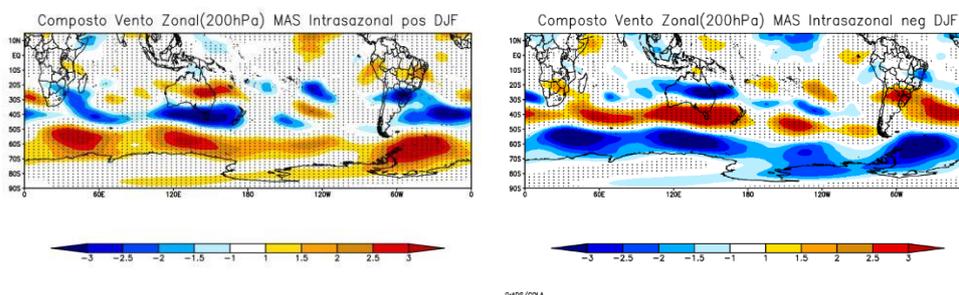
A anomalia de circulação ciclônica encontrada sobre o SEAS, na fase positiva, aliada a uma anomalia ciclônica próxima à região do VCAN do NEB favorece uma banda de anomalias positivas de precipitação sobre parte das regiões Sudeste, Norte e Nordeste do Brasil, enquanto a região sul do Brasil, Argentina e Chile apresentam anomalias negativas, consistentes com a subsidência entre a crista e o cavado. Esse fato é corroborado pelos compostos de ROL. Para a fase negativa observam-se anomalias positivas de precipitação na região sul do Brasil, Argentina e Chile, consistente com movimento ascendente entre o cavado e a crista observadas sobre o continente. Ao norte dessa região, há anomalias negativas de precipitação, associadas à presença da crista. A ocorrência das anomalias de precipitação nas duas fases deve-se também à maior frequência de sistemas frontais que atuam na fase negativa do MAS, pois, o Jato Subtropical fica mais intenso nessa fase, fazendo com que a região de passagem dos sistemas sinóticos fique deslocada mais para norte, enquanto na fase positiva ocorre o oposto (THOMPSON; WALLACE, 2000; REBOITA et. al., 2009). A intensificação do jato subtropical ou jato polar em cada fase é mostrada na Figura 5.41.

Nos compostos de ROL, também é notada uma configuração oposta entre as fases sobre a região da Indonésia/Pacífico Oeste, semelhante ao padrão da OMJ.

**Figura 5.40.** Compostos em DJF para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



**Figura 5.41.** Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para DJF.



#### 5.3.2.1.4 Compostos de extremos simultâneos de PAS1 e MAS

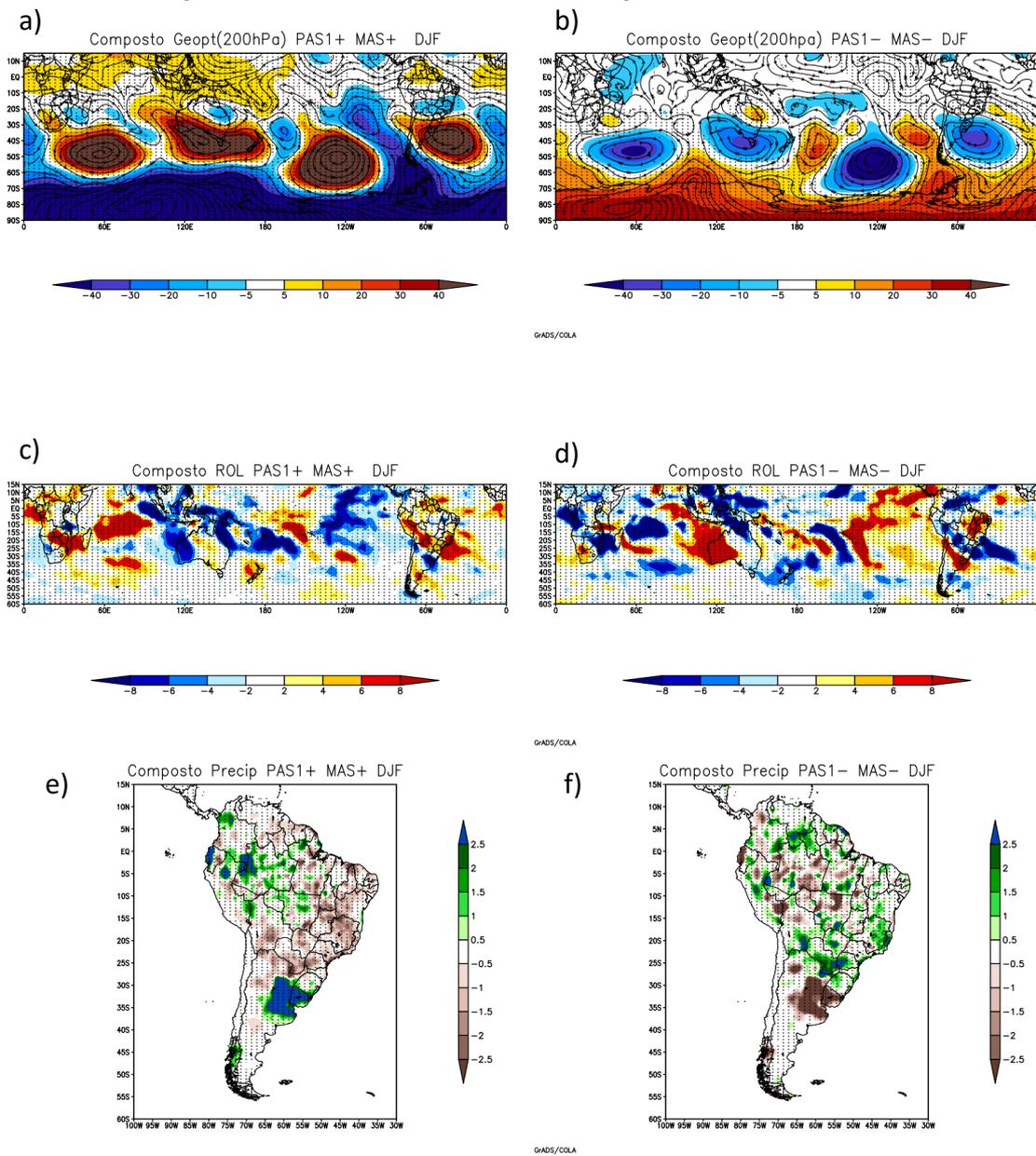
Analisando concomitantemente as fases dos padrões, verifica-se que durante a ocorrência simultânea das fases positivas e das fases negativas do PAS1 e do MAS, os sinais de ambos os padrões são mostrados no composto de anomalias de altura geopotencial (Figura 5.42 a, b). Em latitudes polares e médias, o sinal do MAS é bem marcante.

O trem de ondas que se curva sobre a AS produz centros alternados sobre a AS na fase de combinação das fases positivas (negativas) e favorece a um dipolo de anomalias de ROL positivas (negativas) sobre a região sudeste do Brasil e negativas (positivas) sobre o Uruguai. Esse padrão de dipolo é consistente com a forte anomalia positiva (negativa) de precipitação sobre o nordeste da Argentina na fronteira com o Uruguai e negativa (positiva) sobre a porção central do Brasil, Paraguai e sul da Bolívia.

Nos casos individuais de MAS positivo (Figuras 5.40 a, c, e), o enfraquecimento do Jato Subtropical influencia reduzindo a precipitação no sul e em casos de MAS negativo aumenta. Também se observam anomalias opostas de ROL sobre o Índico, Austrália e Pacífico, mostrando uma estrutura mais complexa do que OMJ, apresentando certa oposição entre as combinações.

Em DJF, não houve simultaneidade das fases opostas dos padrões.

**Figura 5.42.** Compostos em DJF para casos simultâneos positivos e negativos de PAS1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



### **5.3.2.1.5 Compostos de extremos simultâneos de PAS2 e MAS**

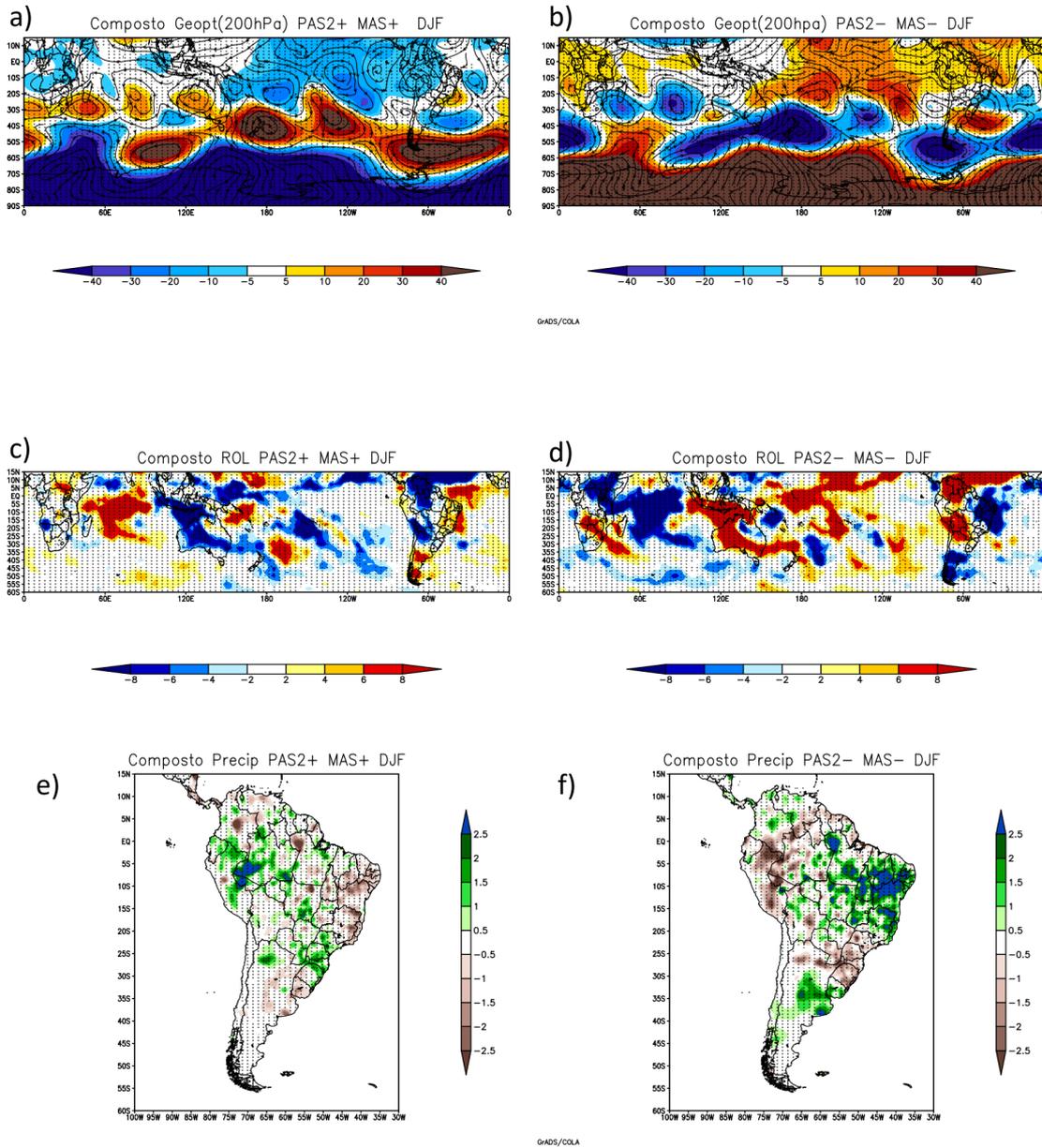
Para esse caso, observa-se que o sinal do MAS é mais intenso, tendo características bem próximas às dos compostos isolados do MAS (Figura 5.43 a, b)

Embora o padrão PSA não esteja bem organizado nesta combinação, nota-se a intensificação dos centros de ação sobre a AS. Os campos opostos desses centros, contribuem para as anomalias opostas de precipitação observadas sobre o continente. Uma circulação ciclônica (anticiclônica) próxima ao Uruguai, favorece, na combinação de fases positivas (negativas), anomalia positiva (negativa) de precipitação sobre a região Sul do Brasil. Mais a norte uma anomalia de circulação anticiclônica (ciclônica), favorece anomalia negativa (positiva) de precipitação sobre o NEB, o que é corroborado pelas fortes anomalias de ROL.

Nos compostos de PAS2 isolado (Figura 5.39), verificou-se uma influência apenas sobre a Argentina. Combinando o PAS2 com o MAS, os centros alternados de altura geopotencial ficaram sobre o leste da AS, estabelecendo um tripolo de anomalias de precipitação, que apresenta configuração oposta nas duas fases.

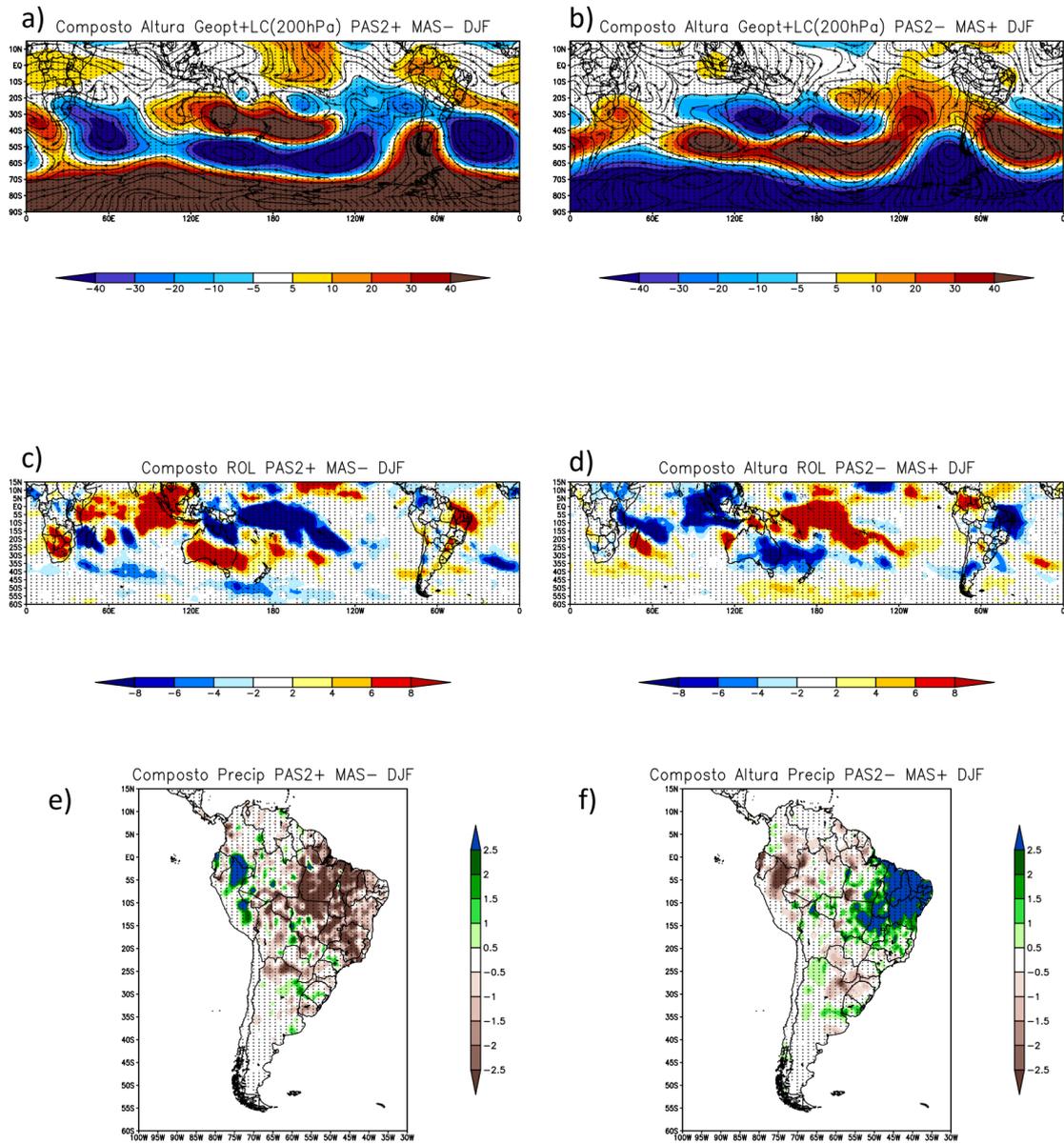
Assim como mostrado para a combinação de PAS1 e MAS, a combinação de PAS2 com MAS também apresenta anomalias opostas de ROL sobre o Índico, Austrália e Pacífico entre as duas combinações.

**Figura 5.43.** Compostos em DJF para casos simultâneos positivos e negativos de PAS2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



Para a combinação das fases opostas dos padrões (Figura 5.44 e, f), nota-se forte influência nas anomalias de precipitação sobre o NEB. Na combinação de PAS2 positivo com MAS negativo, é verificado forte anomalia negativa de precipitação e anomalia positiva de ROL sobre o NEB. Para a combinação de PAS2 negativo e MAS positivo, forte anomalia positiva de precipitação e anomalia negativa de ROL é verificada sobre a região nordeste, consistente com um aumento da convecção nessa região.

**Figura 5.44.** Compostos em DJF para casos simultâneos em fases opostas de PAS2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados Teste de significância t-student, com 99% de significância.

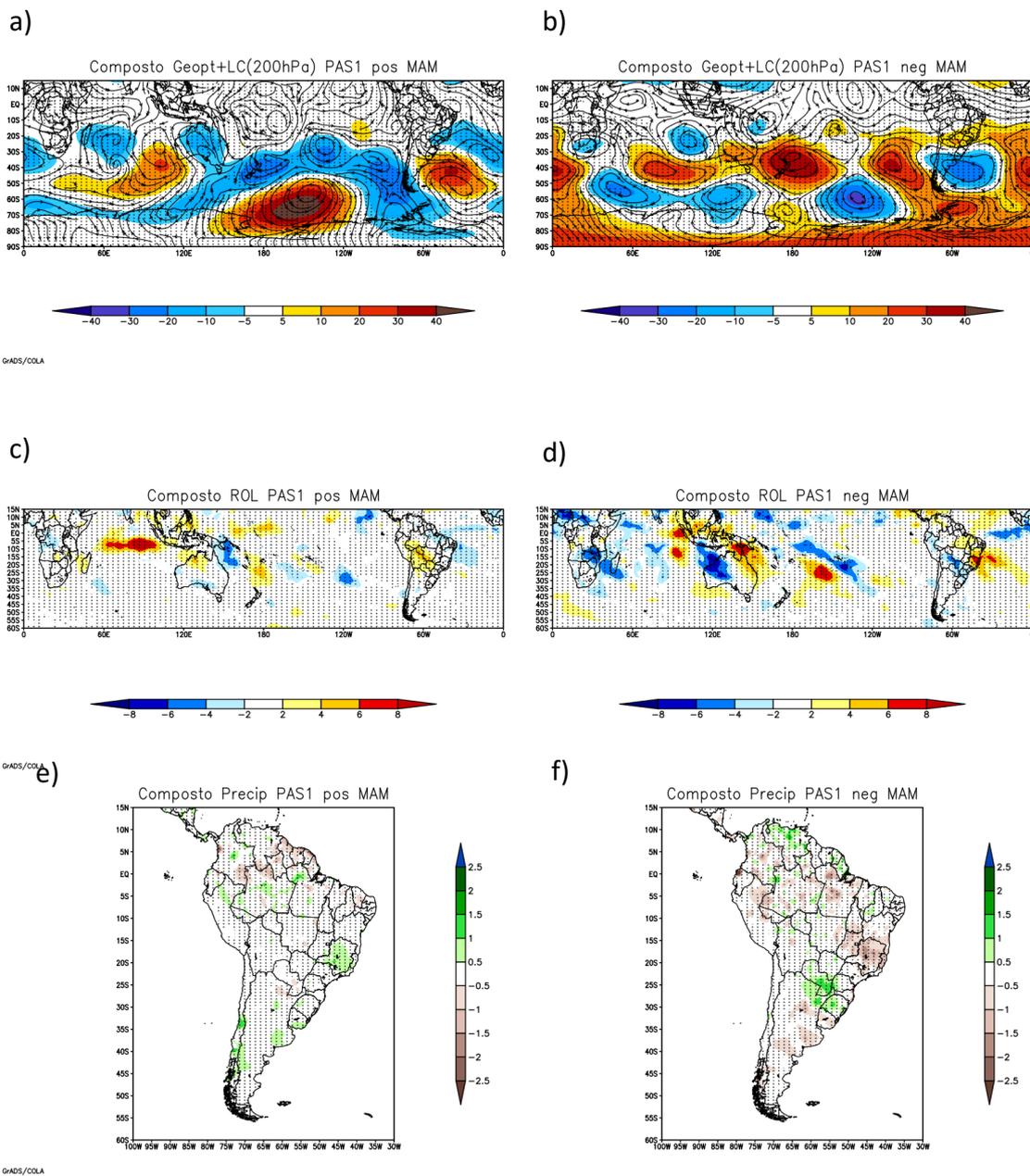


### **5.3.2.2 MAM**

#### **5.3.2.2.1 PAS1**

Para esse trimestre observa-se que os centros de ação estão mais intensos desde a Oceania até a AS, caracterizando o PAS (Figura 5.45). Os centros opostos próximo à AS contribuem para as anomalias opostas de precipitação observadas sobre o continente.

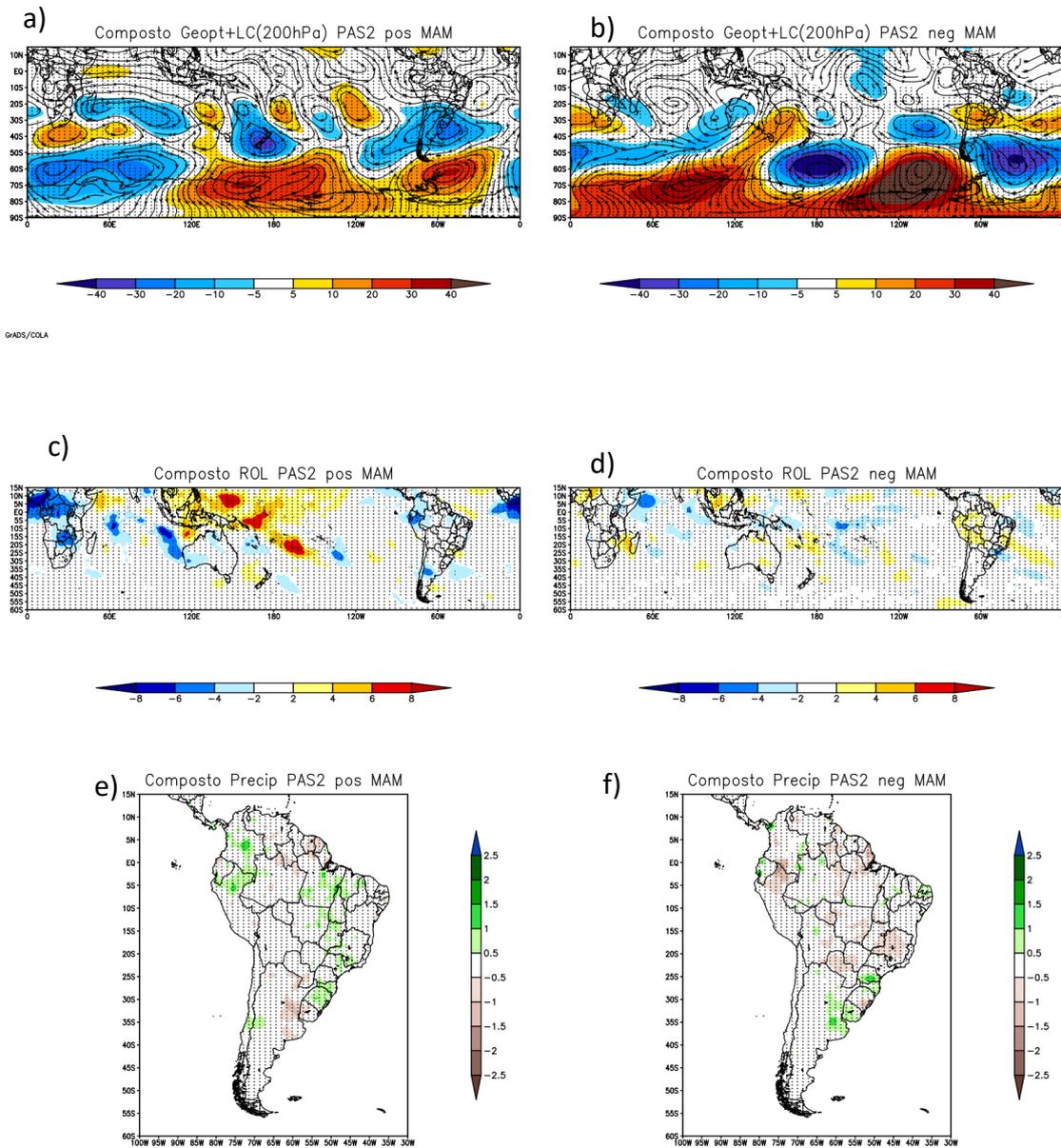
**Figura 5.45.** Compostos em MAM para PAS1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



#### **5.3.2.2.2 PAS2**

Assim como o PAS1, o PAS2 para esse trimestre apresenta baixa intensidade nas anomalias de ROL e precipitação (Figura 5.46). Na fase positiva é observado que a circulação ciclônica sobre o SEAS favorece anomalias positivas de precipitação sobre parte da região Sul do Brasil e região central (Figura 46 e). A crista ao sul, induz a movimentos subsidentes, reduzindo a precipitação na Argentina. Na fase negativa, observa-se situação oposta nos campos da circulação e de precipitação.

**Figura 5.46.** Compostos em MAM para PAS2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.

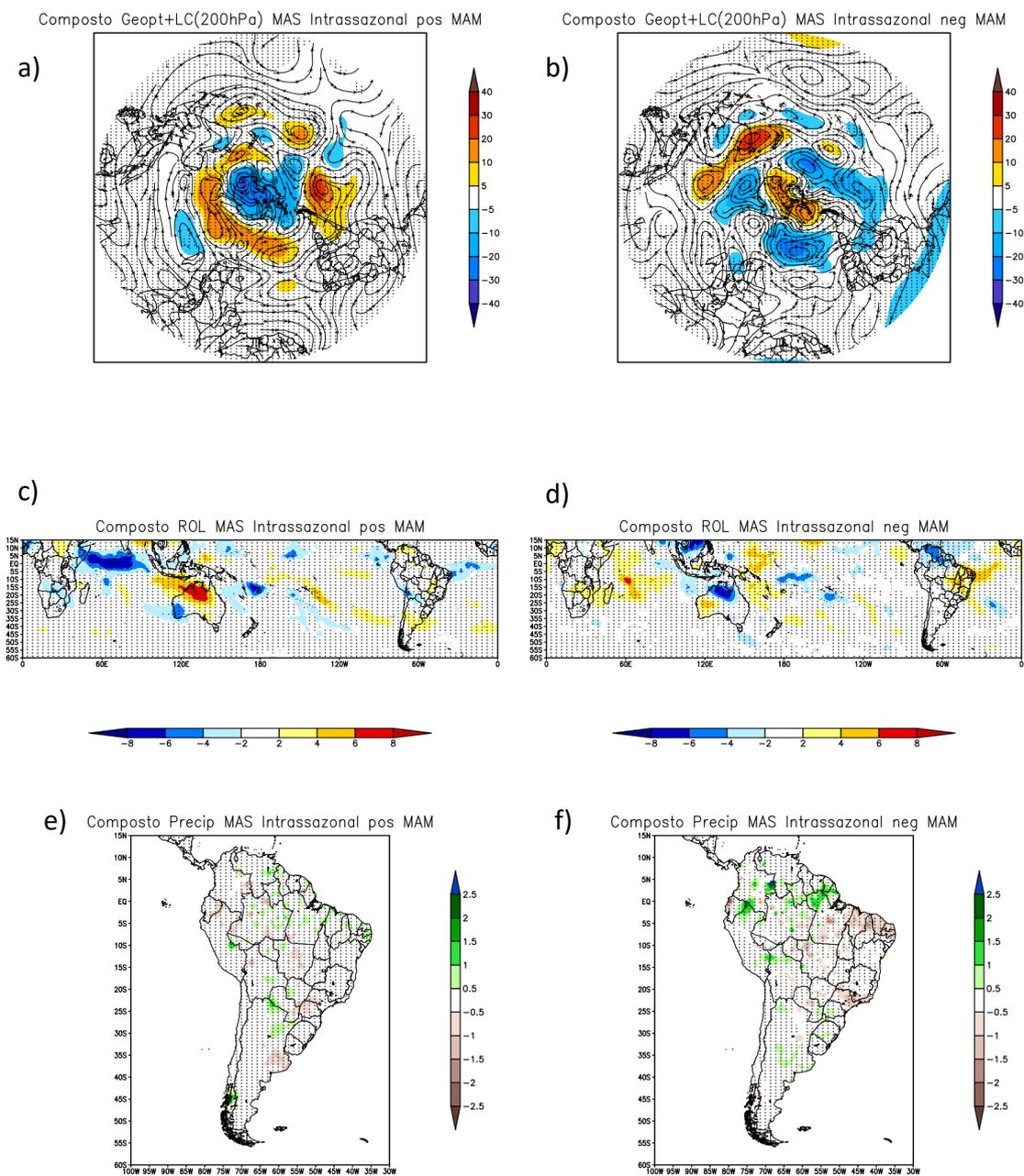


### **5.3.2.2.3 MAS**

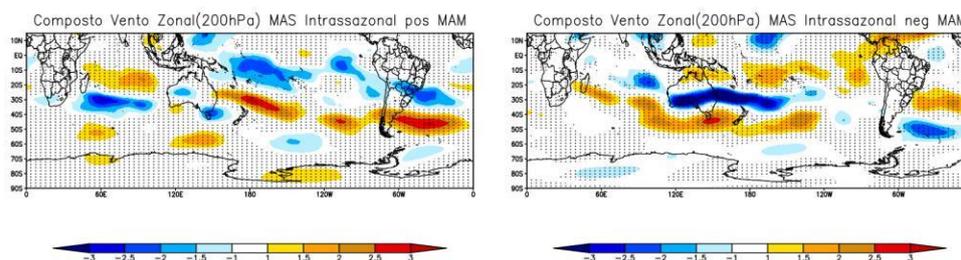
O padrão anular do MAS é detectado (Figura 5.47), entretanto menos intenso do que é apresentado no trimestre anterior (Figura 5.40). Pode-se notar também que há pouca relação com a precipitação sobre a AS, embora possam ser observadas anomalias fracas de precipitação opostas na Argentina e Chile, consistentes com a intensidade do jato subtropical nas duas fases. No composto de ROL verifica-se sinais opostos sobre o Oceano Índico, Austrália, Oceano Pacífico e no NEB, sugerindo a influência da OMJ.

Na anomalia do vento zonal (Figura 5.48), verifica-se que há fortes anomalias em latitudes mais baixas, do que a latitude climatológica das correntes de jatos. Há uma intensificação do jato sobre o Oceano Pacífico e sul da AS na fase positiva e enfraquecimento na fase negativa.

**Figura 5.47.** Compostos em MAM para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



**Figura 5.48.** Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para MAM.



#### 5.3.2.2.4 Compostos de extremos simultâneos de PAS1 e MAS

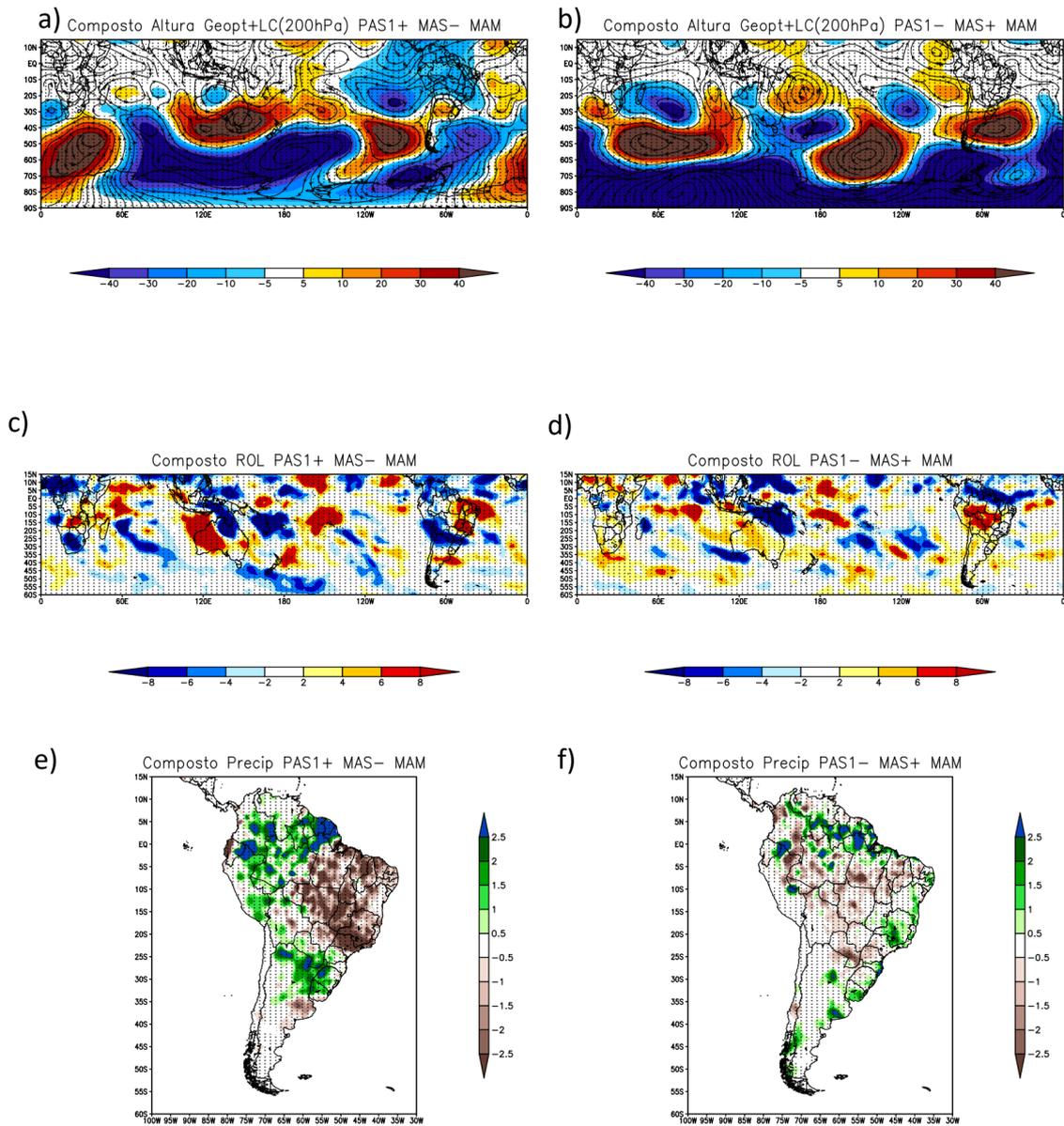
Foi verificado, que para esse trimestre, não houve ocorrência simultânea de mesma fase para os extremos de PAS1 e MAS, apenas para fases opostas.

Para a combinação das fases positiva do PAS1 e negativa do MAS são notadas fortes anomalias de precipitação e ROL sobre a AS (Figura 49). Intensa anomalia positiva de precipitação é observada no nordeste da Argentina, Uruguai, parte do Sul do Brasil, e extremo norte da AS, assim como forte anomalia negativa sobre o centro-norte e sudeste do Brasil (Figura 5.49 c, d). Porém, as influências do trem de ondas sobre o continente não estão claras (Figura 5.49 a, b).

Na combinação da fase negativa do PAS1 com a fase positiva do MAS, ocorrem anomalias positivas de precipitação na parte leste do continente, desde as latitudes tropicais até as latitudes médias, incluindo também o sul do Chile, e anomalias negativas na região central (Figura 5.49 e, f). Nesse caso, a presença de uma crista sobre o Sudeste da AS poderia contribuir para as anomalias negativas na região central, e uma circulação anticiclônica em baixos níveis poderia levar umidade para as regiões próximas à costa (Figura 49 f).

Nos compostos simultâneos de fases opostas, verifica-se que há características da fase positiva do MAS, onde essa é considerada. Entretanto onde é considerada a fase negativa, não são apresentadas características do padrão (Figura 49 a, b).

**Figura 5.49.** Compostos em MAM para casos simultâneos em fases opostas de PAS1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.

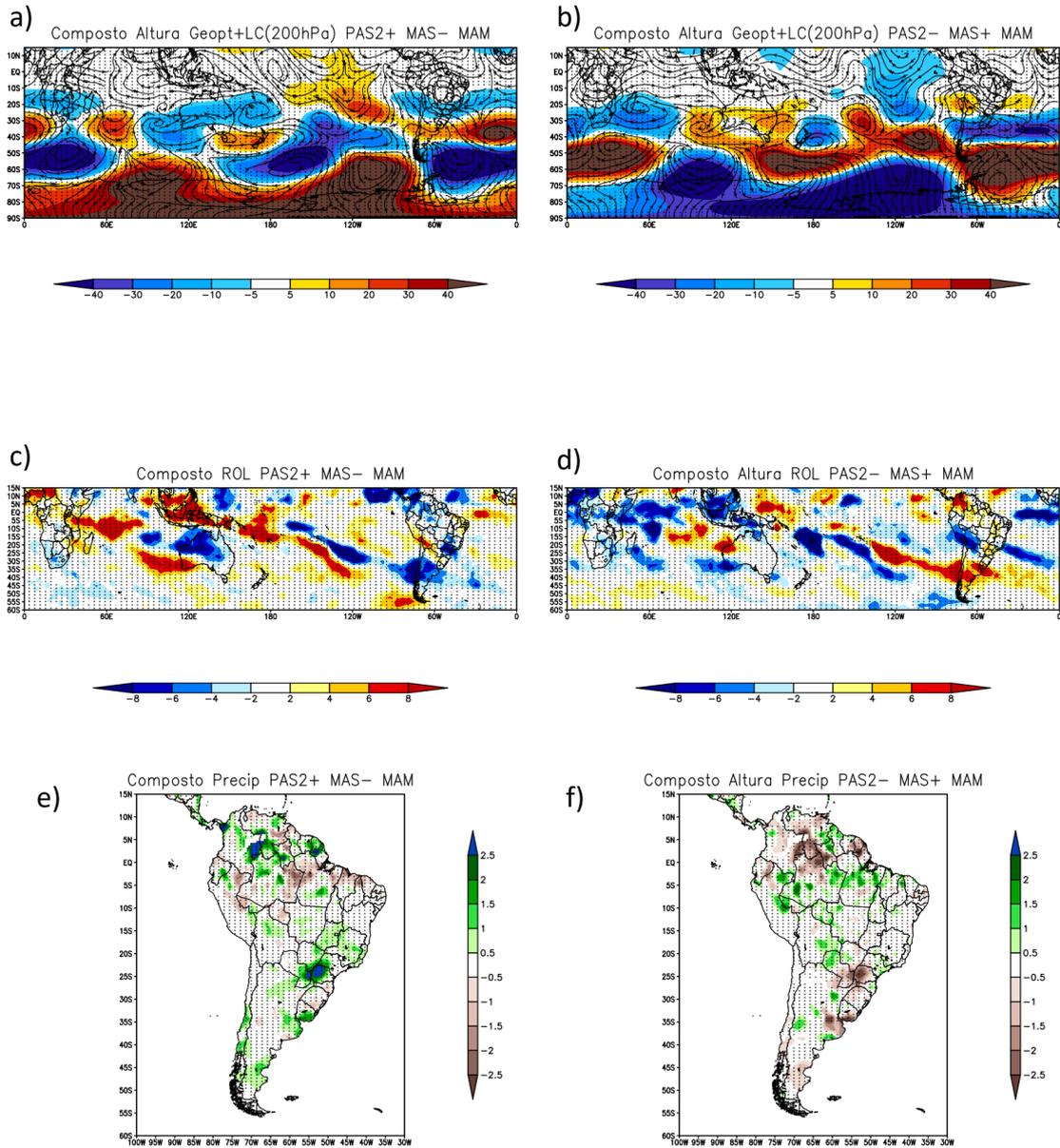


### **5.3.2.2.5 Compostos de extremos simultâneos de PAS2 e MAS**

Assim como o item anterior, não ocorreu simultaneidade de mesma fase para essa combinação, apenas fases opostas.

Para a combinação do PAS2 positivo com MAS negativo, é notada forte anomalia positiva de precipitação na divisa dos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Sudeste do Uruguai, Leste da Argentina e Norte da AS, e o oposto ocorre na combinação de PAS2 negativo com MAS positivo (Figura 5.50 e, f). Anomalias opostas também ocorrem na Argentina e Chile nas duas combinações opostas. É notória a oposição das anomalias de altura geopotencial entre as combinações das fases, bem consistentes com o padrão do MAS (Figura 5.50 a, b). Há também inversão das anomalias de ROL sobre o Índico, Pacífico e Indonésia (Figura 5.50 e, f).

**Figura 5.50.** Compostos em MAM para casos simultâneos em fases opostas de PAS2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.

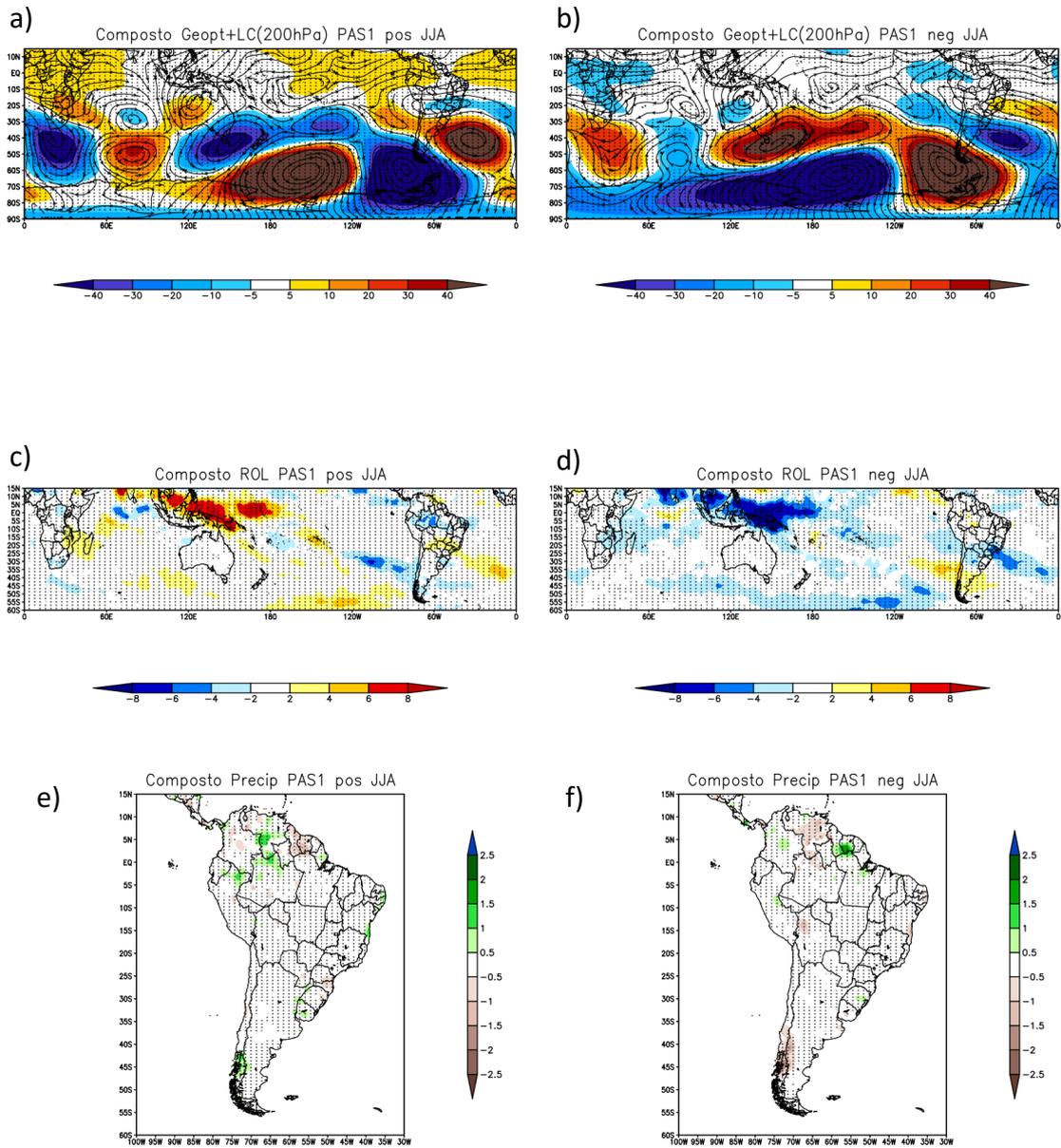


### **5.3.2.3 JJA**

#### **5.3.2.3.1 PAS1**

Para esse trimestre, o PAS1 apresenta seu característico padrão ondulatório sobre o Pacífico, e um padrão hemisférico com número de onda 3, e inversão do sinal nas duas fases (Figura 5.51 a, b). Há também uma inversão no sinal de ROL sobre a Indonésia e algumas áreas do Pacífico (Figura 5.51 c, d). Porém a influência na precipitação, sobre grande parte da AS, é quase nula em ambas as fases, apenas o sul do Chile apresenta anomalias opostas em fases opostas, assim como sinais opostos sobre o extremo norte da AS (Figura 5.51 e, f). Entretanto, os campos de anomalias de ROL são consistentes com os centros de ação do trem de ondas sobre o Sul/Sudeste da AS (Figura 5.51 c, d).

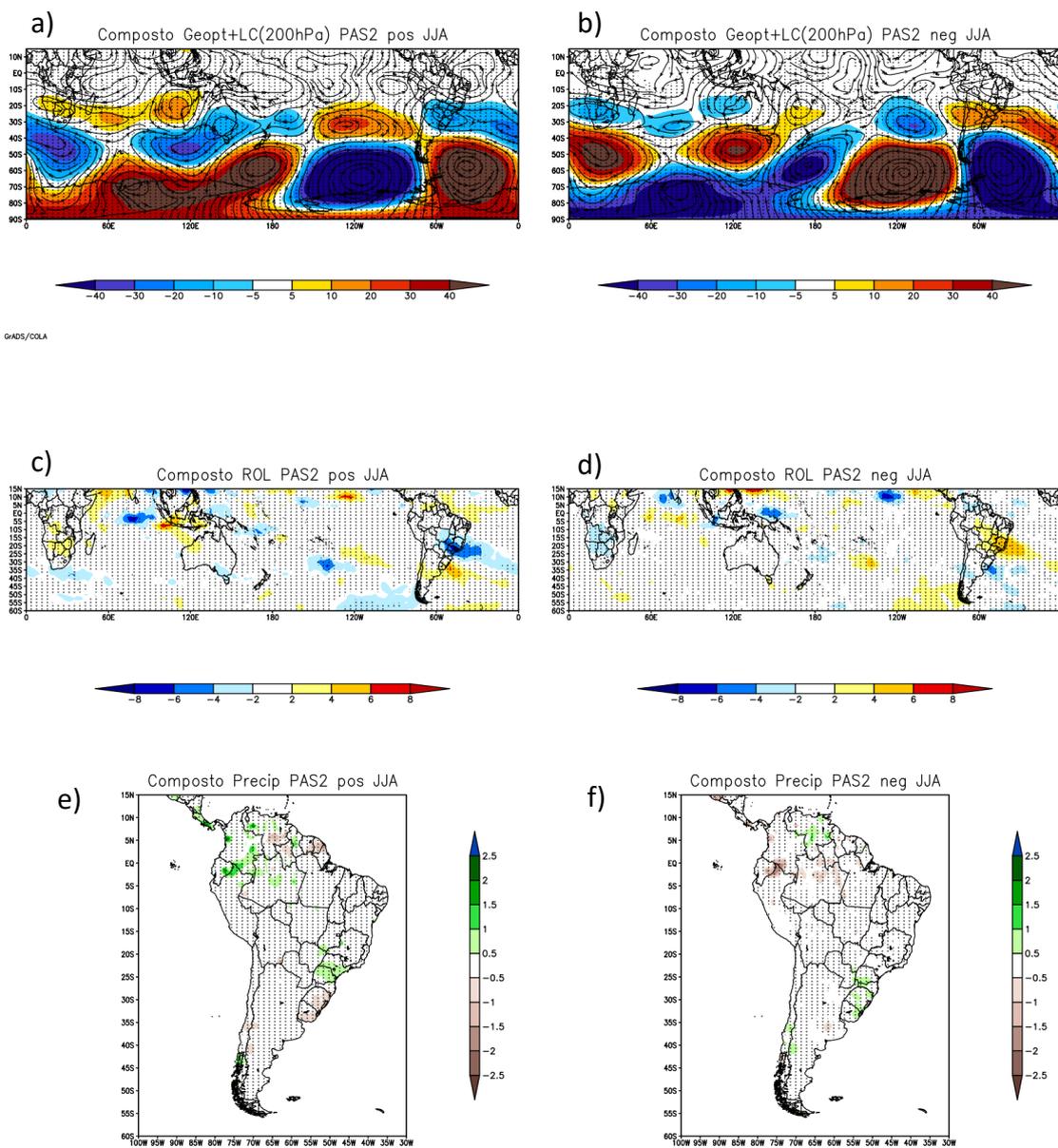
**Figura 5.51.** Compostos em JJA para PAS1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



#### **5.3.2.3.2 PAS2**

Assim como o PAS1, o PAS2 também mostra maior influência nas anomalias de ROL do que nas anomalias de precipitação (Figura 5.52 c, d, e, f). Nota-se o dipolo negativo (positivo), anomalias negativas (positivas) mais a norte e positivas (negativas) mais a sul, de ROL durante a fase positiva (negativa) entre a região Sudeste do Brasil e a bacia do Prata. Como, climatologicamente, no inverno a precipitação sobre a AS é baixa, as anomalias podem ser menores que o limiar apresentado nas Figuras. As anomalias de geopotencial são consistentes com as anomalias de ROL observadas nas duas fases (Figura 5.51 c, d).

**Figura 5.52.** Compostos em JJA para PAS2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.

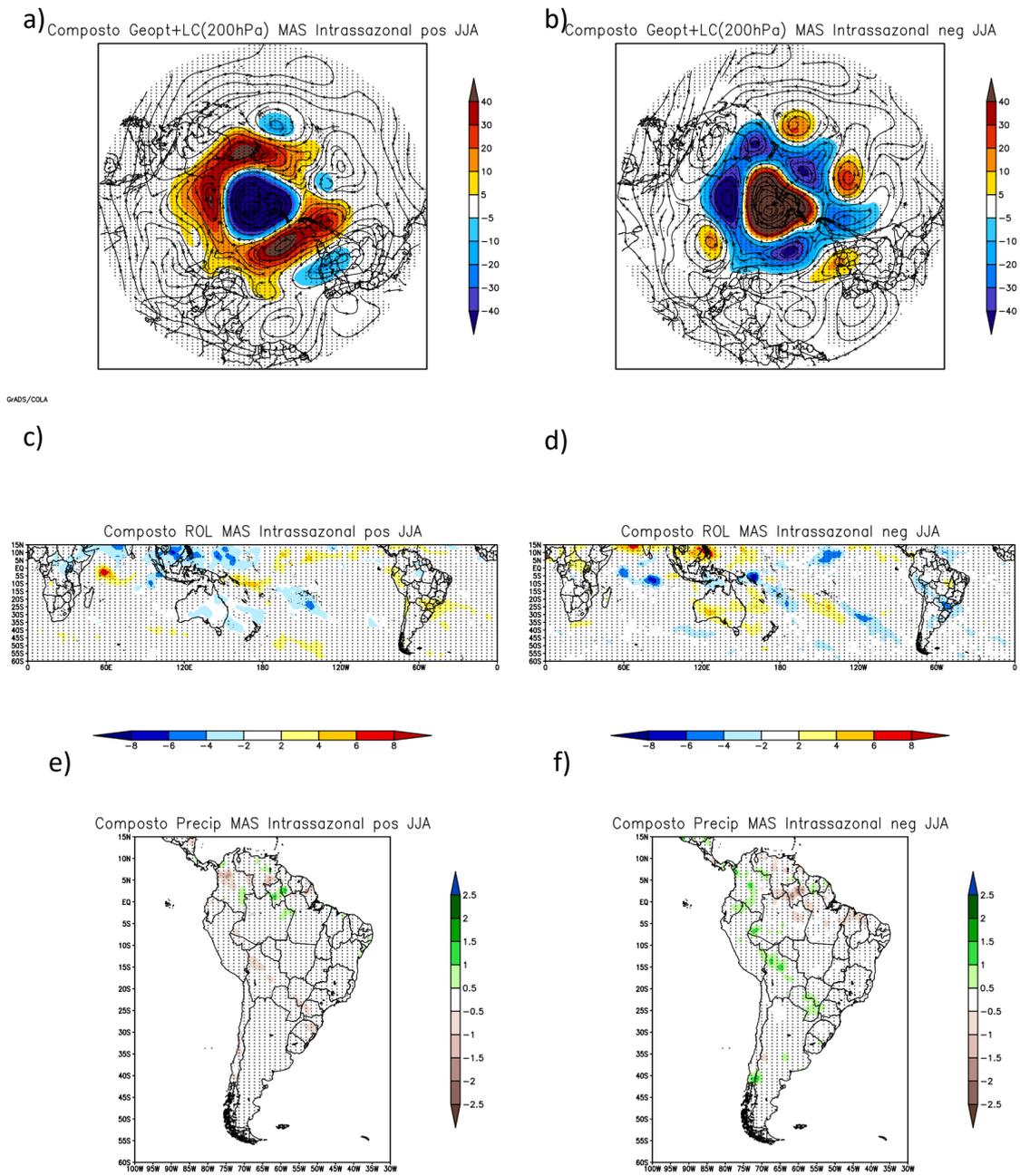


### **5.3.2.3.3 MAS**

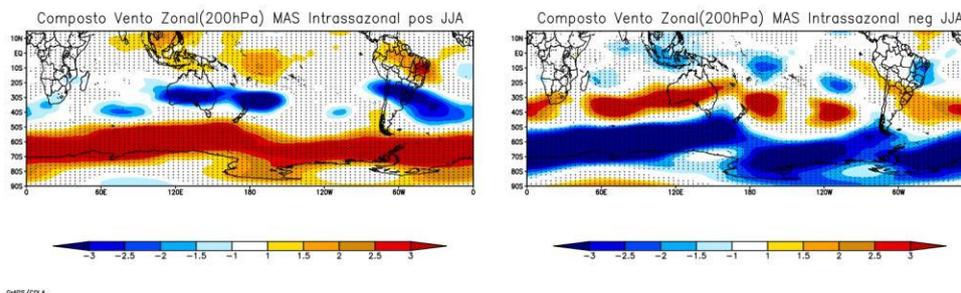
Em JJA verifica-se o padrão anular do MAS, com certa atenção para anomalias de altura geopotencial negativas e circulação ciclônica (positivas e circulação anticiclônica) durante a fase positiva (negativa) ao norte das anomalias do anel em latitudes médias Figura 5.52 a, b). Em relação às anomalias de ROL, nota-se oposição entre as fases sobre a região Sudeste do Brasil e Indonésia (Figura 5.52 c, d). Para os compostos de precipitação, fracas anomalias, porém opostas sobre a Bolívia até o sul do Brasil, e Chile, são consistentes com a circulação enfraquecida (fortalecida) do jato subtropical na fase positiva (negativa) (Figura 5.52 e, f).

A anomalia do vento zonal na fase positiva (negativa), apresenta forte anomalia negativa (positiva) sobre o SEAS, o que contribui para uma leve diminuição (aumento) da precipitação na região (Figura 5.54).

**Figura 5.53.** Compostos em JJA para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



**Figura 5.54.** Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para JJA.



#### **5.3.2.3.4 Compostos de extremos simultâneos de PAS1 e MAS**

Para esse trimestre não houve simultaneidade de nenhuma das fases dos padrões.

#### **5.3.2.3.5 Compostos de extremos simultâneos de PAS2 e MAS**

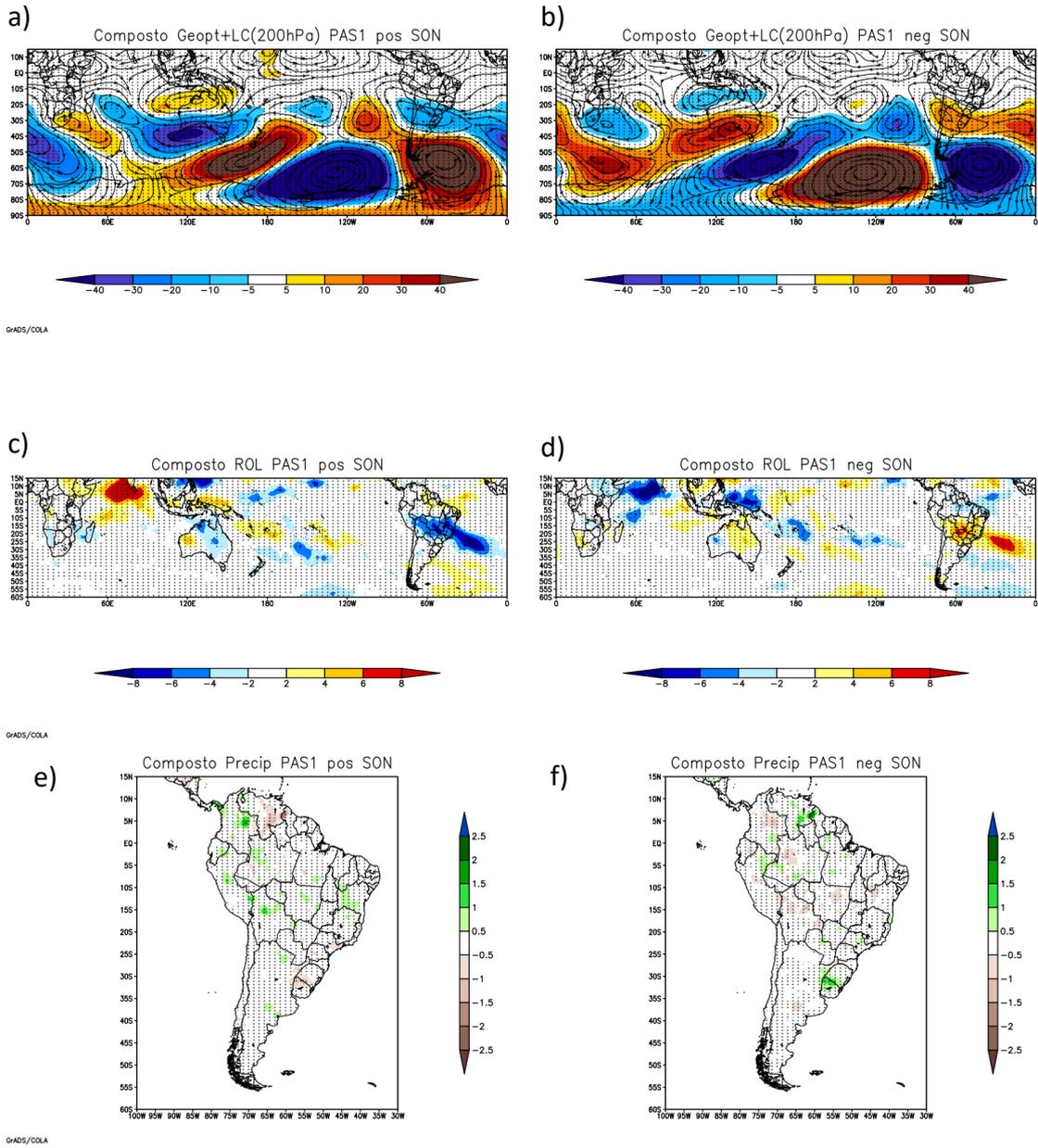
Para esse trimestre não houve simultaneidade de nenhuma das fases dos padrões.

### **5.3.2.4 SON**

#### **5.3.2.4.1 PAS1**

No campo de compostos de anomalia de geopotencial, nota-se a assinatura do padrão PAS1, desde a Oceania até a AS e um número de onda 3 (Figura 5.55 a, b). Uma anomalia ciclônica (anticiclônica) localizada sobre o SEAS, favorece a anomalias negativas (positivas) de ROL com orientação NW-SE (Figura 5.55 c, d). Sobre o Índico e a Indonésia também são observadas anomalias opostas de ROL nas duas fases. Embora fracas, as anomalias de precipitação se invertem sobre a AS (Figura 5.55 c, d) assim como as anomalias de ROL.

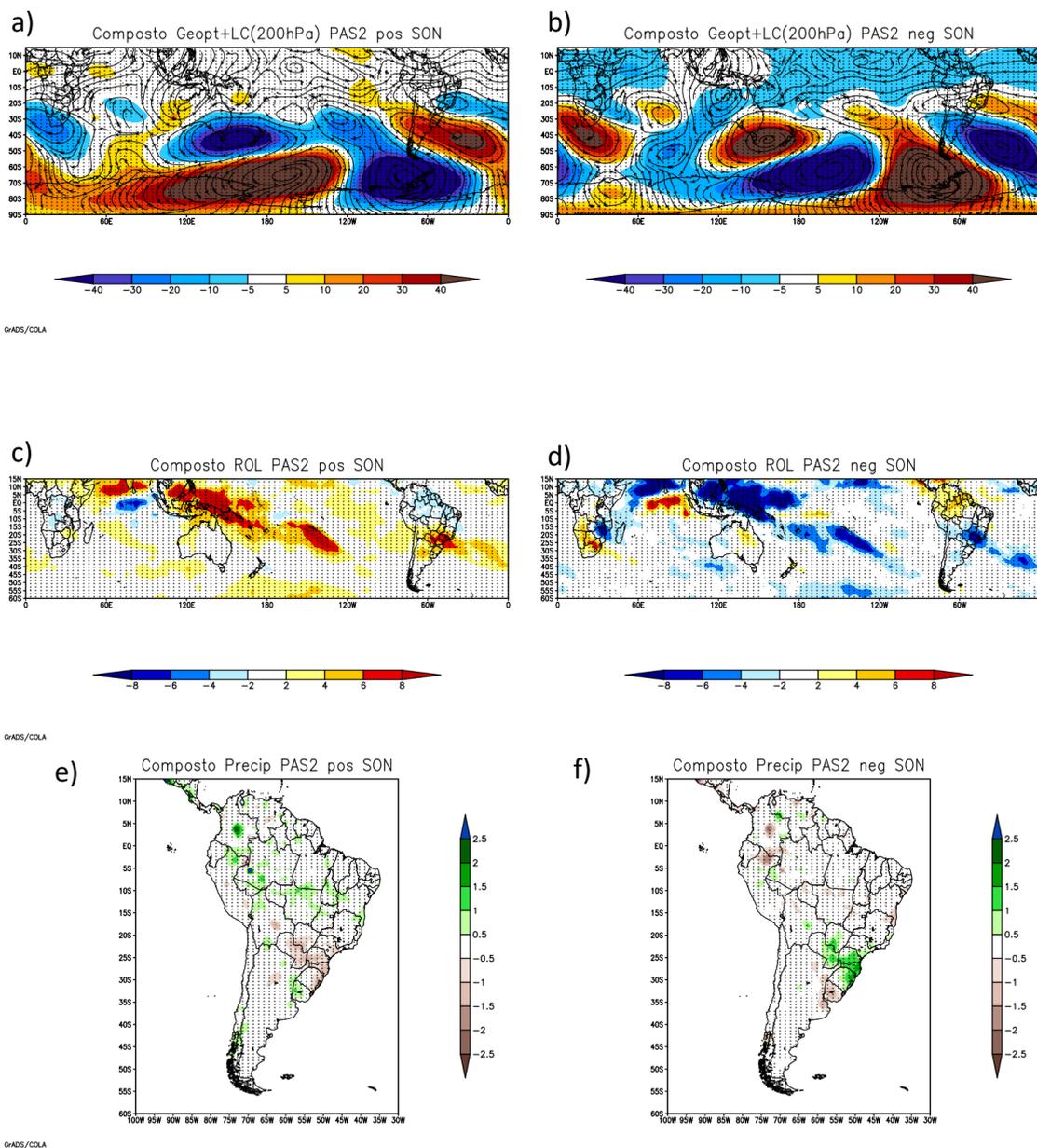
**Figura 5.55.** Compostos em SON para PAS1. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



#### **5.3.2.4.2 PAS2**

No composto de anomalias de geopotencial para esse trimestre, os centros também estão mais intensos sobre o Oceano Pacífico/AS, configurando bem o padrão PAS (Figura 5.56 a, b). É possível destacar na fase negativa (positiva) forte anomalia negativa (positiva) de ROL sobre a região Sudeste do Brasil (Figura 5.56 c, d), configurando também anomalia positiva (negativa) de precipitação (Figura 5.56 e, f). Essas anomalias estão associadas a uma anomalia ciclônica (anticiclônica) em 200hPa, a qual é parte do trem de ondas do PAS. Nota-se a presença de anomalias de ROL sobre o Índico, Pacífico, Indonésia e Norte da AS, com características opostas entre as fases.

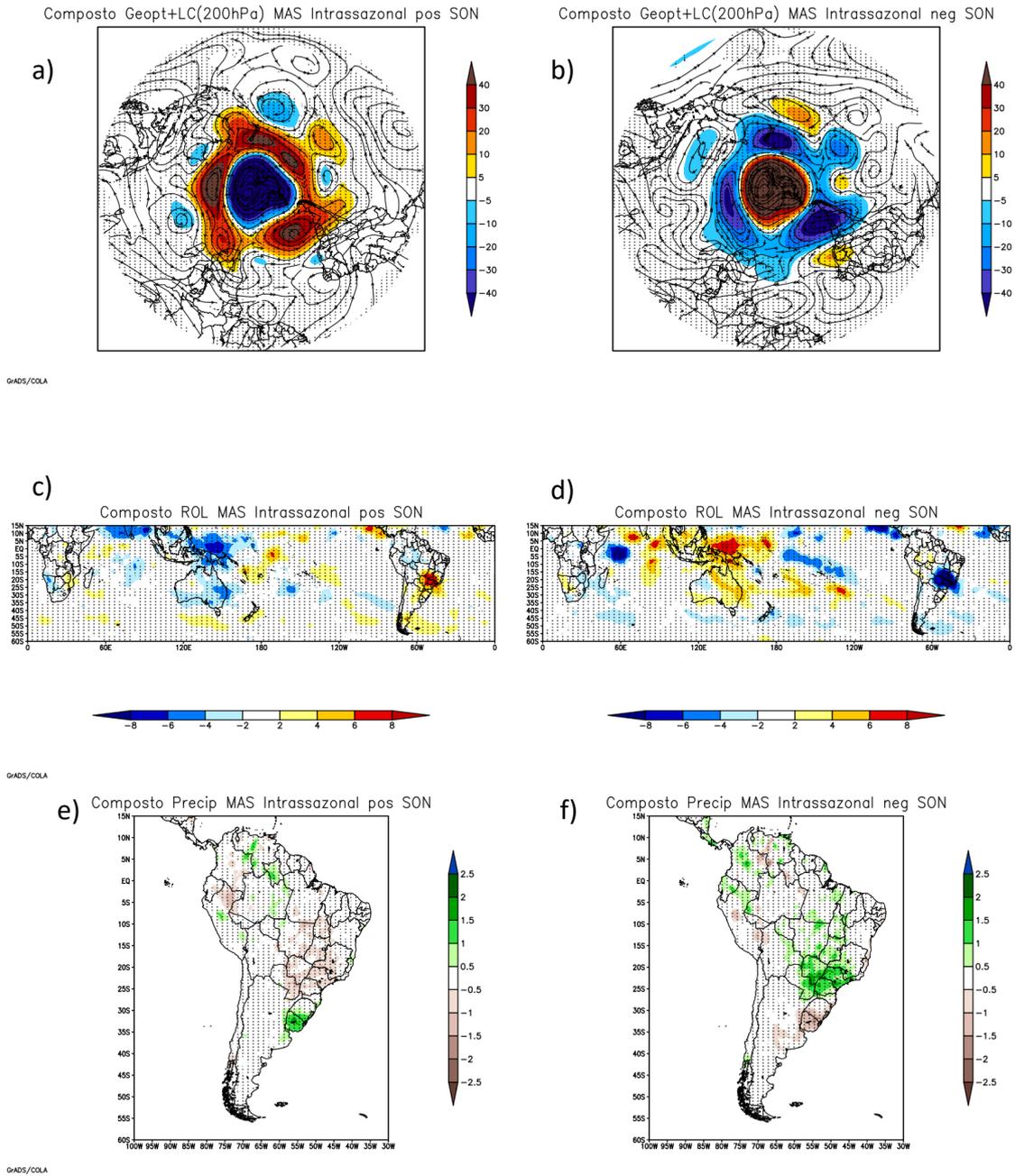
**Figura 5.56.** Compostos em SON para PAS2. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



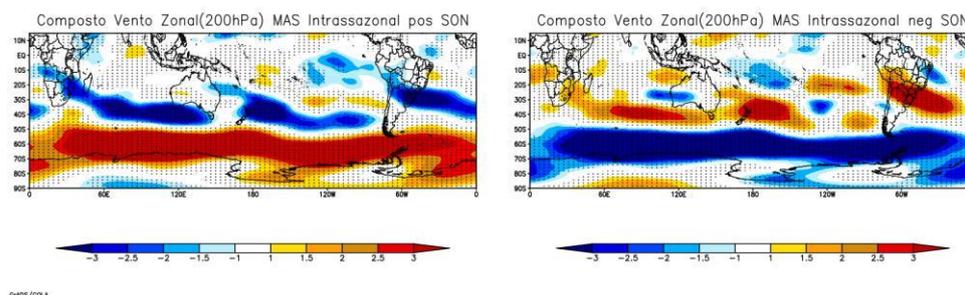
### **5.3.2.4.3 MAS**

Em SON, o MAS apresenta, fortes centros de anomalias de geopotencial sobre o sudoeste do Oceano Atlântico/ extremo sul da AS, que fazem parte do anel de latitudes médias do modo (Figura 5.57 a, b). Na fase negativa (positiva), há forte anomalia negativa (positiva) de ROL (Figura 5.57 c, d) e anomalia positiva (negativa) de precipitação (Figura 5.57 e, f) sobre o sudeste e centro-oeste do Brasil, concordando com os resultados apresentados por Vasconcellos et. al. (2019). Um dipolo de precipitação é identificado entre a região Sudeste do Brasil e o Uruguai, com sinal oposto entre as fases. Também são encontradas anomalias opostas de ROL sobre o Índico, Indonésia e Pacífico entre as fases. O fortalecimento (enfraquecimento) do Jato Subtropical na fase negativa (positiva), (Figura 5.58), favorece às anomalias positivas (negativas) de precipitação.

**Figura 5.57.** Compostos em SON para MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



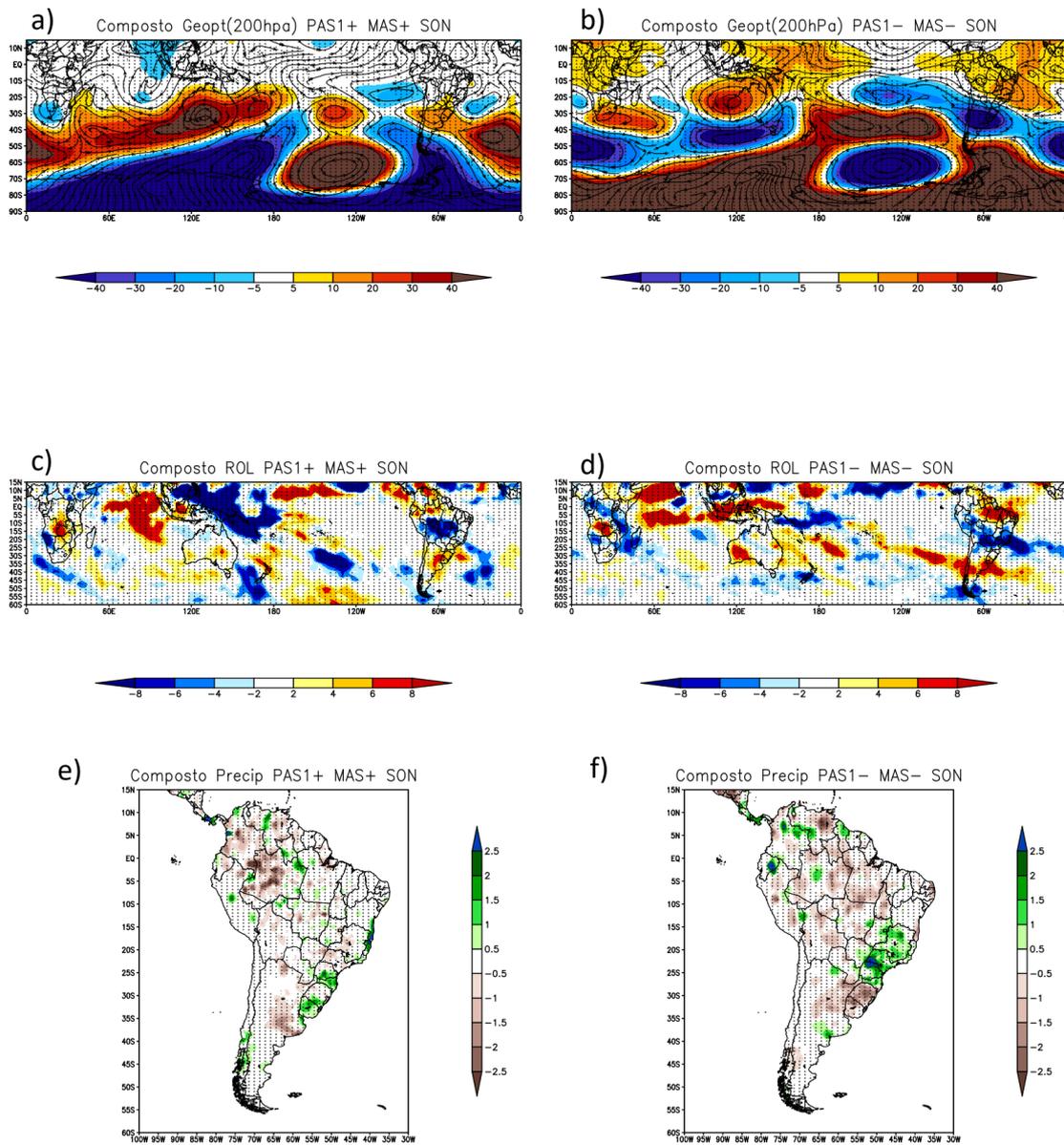
**Figura 5.58.** Composto de anomalia do vento Zonal em 200hPa para SON.



#### 5.3.2.4.4 Compostos de extremos simultâneos de PAS1 e MAS

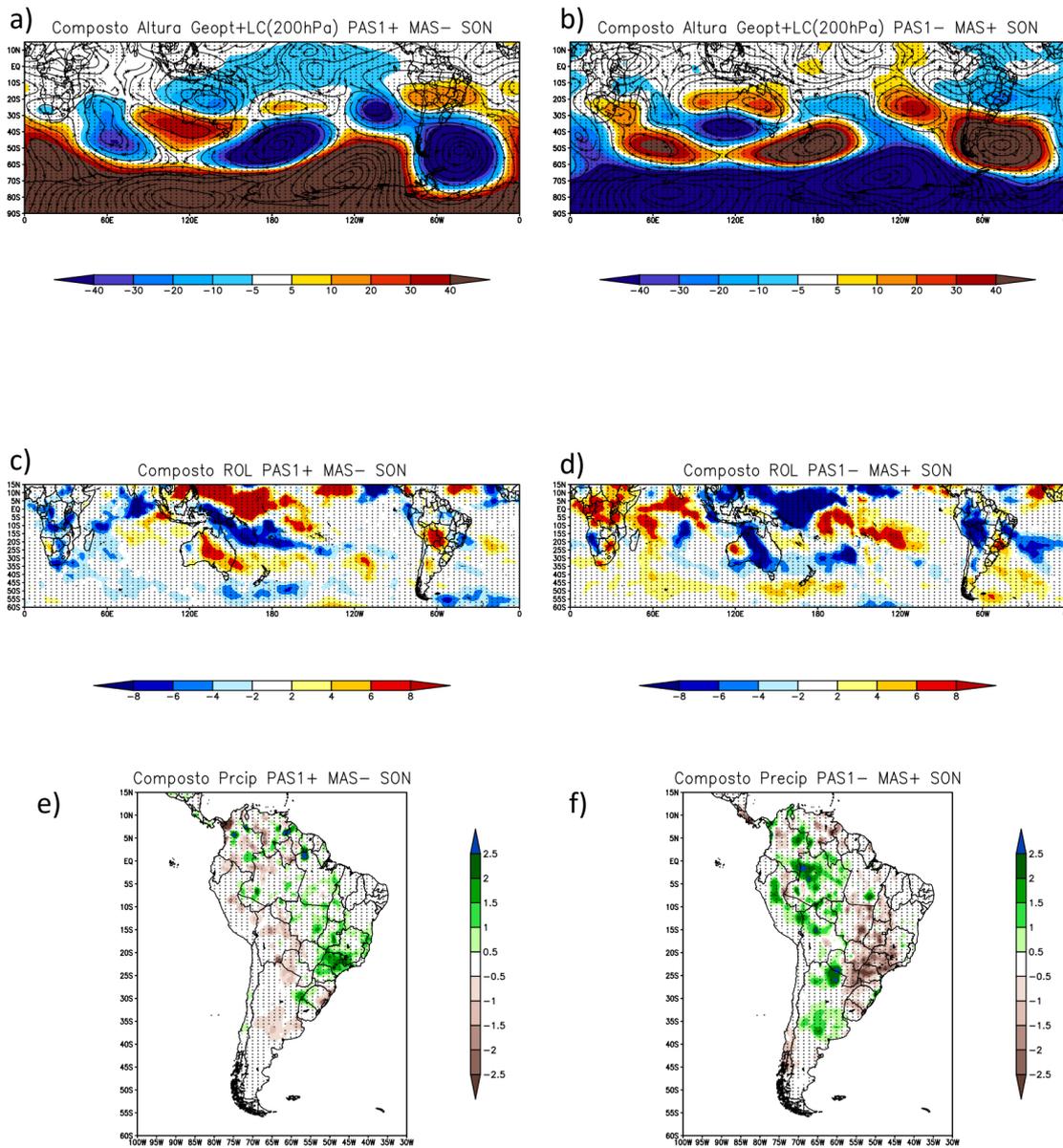
Nessa combinação, o MAS é bem caracterizado, assim como o padrão PAS, nas duas fases (Figura 5.59 a, b). Os campos de ROL e de precipitação são consistentes com a ação dos centros sobre a AS na fase negativa (Figura 5.59 e, f). Para a combinação das fases negativas dos padrões, nota-se um dipolo negativo de ROL entre a parte central da AS e a região central da Argentina, que tem a contribuição de uma anomalia ciclônica sobre o norte da Argentina e anticiclônica sobre o extremo sul da Patagônia. Na combinação de fases positivas, verifica-se que, para a circulação, ocorre o oposto, entretanto para a ROL não. Anomalias opostas de precipitação são observadas no Uruguai e sul do Chile.

**Figura 5.59.** Compostos em SON para casos simultâneos positivos e negativos de PAS1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



Para a combinação de fases opostas, o padrão MAS é bem evidente e os centros de ação do PAS afetam a AS (Figura 5.60 a, b). Para MAS negativo (positivo) e PAS1 positivo (negativo), é observada anomalia positiva (negativa) de ROL sobre a Bolívia, parte do Paraguai e Argentina e negativa (positiva) sobre a região sudeste do Brasil, (Figura 5.60 c) e por consequência, anomalia positiva (negativa) de precipitação sobre o sudeste do Brasil (Figura 5.60 d) As circulações sobre a AS mostram que o sentido do vento em altos níveis é oposto entre as fases, e os centros de ação também, o que pode ter propiciado as diferenças nas anomalias de precipitação e ROL.

**Figura 5.60.** Compostos em SON para casos simultâneos em fases opostas de PAS1 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.

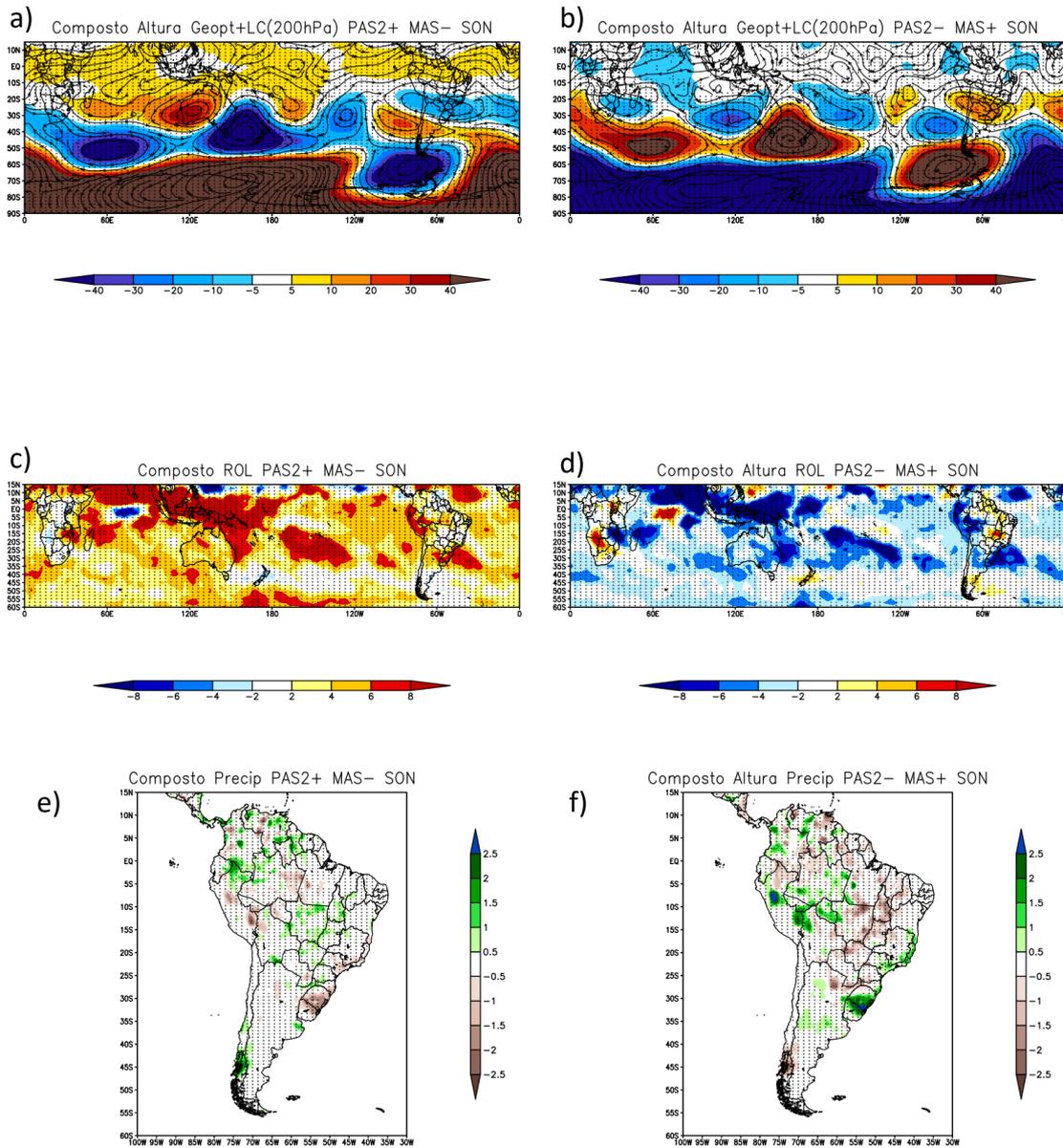


#### **5.3.2.4.5 Compostos de extremos simultâneos de PAS2 e MAS**

Nesse trimestre, não houve combinação de fases iguais, apenas fases opostas.

O padrão MAS é bem intenso e os centros do PAS se estabelecem sobre a AS (Figura 5.61 a, b). Nessa configuração nota-se a oposição bem marcante entre as combinações de fase, com ênfase para anomalia negativa (positiva) de precipitação sobre o Rio Grande do Sul e parte do Sudeste e positiva (negativa) sobre a região Centro-Oeste e sul do Chile, para a combinação PAS2 positivo (negativo) e MAS negativo (positivo) (Figura 5.61 e, f).

**Figura 5.61.** Compostos em SON para casos simultâneos em fases opostas de PAS2 e MAS. Figuras A e B, composto de anomalia de Altura Geopotencial e Linha de Corrente em 200 hPa; C e D composto de anomalia de ROL; E e F composto de anomalia de Precipitação. Pontilhados: Teste de significância t-student, com 99% de significância.



Os centros alternados sobre a AS contribuem para movimentos ascendentes entre o cavado e a crista, e movimentos subsidentes entre a crista e o cavado, resultando nas anomalias de precipitação observadas.

De maneira geral, os compostos simultâneos apresentam anomalias mais intensas que os individuais, mostrando que quando há ocorrência simultânea extrema desses padrões, há um aumento ou uma diminuição expressiva nas anomalias de precipitação.

Comparando as duas frequências de variabilidade, é notado que para os compostos individuais, a intensidade das anomalias é maior na frequência intrassazonal, tendo maior impacto nos trimestres de DJF e SON, sobre o SEAS.

## 6 CONCLUSÃO

Esse trabalho teve como objetivo analisar o impacto dos padrões de teleconexões, em particular os associados a ondas de Rossby e ao MAS, em diferentes escalas de variabilidade, na AS, com utilização da técnica de filtragem do Filtro de Lanczos para extrair as frequências de interesse, a aplicação de FOE para obtenção dos padrões de teleconexão, e a realização de compostos de casos com amplitudes máximas dos modos de variabilidade.

Os números de casos positivos e negativos, em ambas as escalas, possuem algumas diferenças para os extremos isolados, entretanto nenhuma diferença significativa, no máximo 4 casos a mais ou a menos entre os padrões ou entre os trimestres estudados. Para os extremos simultâneos, a diferença foi maior, e foram escolhidos os 10 casos mais extremos para normalizar os resultados.

Observou-se que entre as escalas temporais existem diferenças nas configurações dos modos de variabilidade. Na escala subsazonal e intrassazonal, a FOE1 de anomalias de geopotencial em 700 hPa representou o modo dominante do MAS, sendo que em DJF há um número de onda número 4 na variabilidade subsazonal e número de onda número 3 na variabilidade intrassazonal. Em todas as estações do ano o centro de ação de latitudes médias mais intenso se localiza na região do Oceano Pacífico, na variabilidade subsazonal, e na região do Oceano Índico, na variabilidade intrassazonal. A região do Pacífico é uma região onde há grande interação trópicos-extratropicos, pela existência de grande variabilidade convectiva na região do continente marítimo e Pacífico tropical oeste, associada à OMJ. A região do Índico tropical também é uma região de variabilidade convectiva associada à OMJ e também ao dipolo leste-oeste na TSM -o Dipolo do Oceano Índico (DOI), (CHAN et. al., 2008). Na escala subsazonal, as FOE2 e FOE3 de anomalias de geopotencial em 200 hPa indicaram trens de onda, na região extratropical, com orientação zonal, de número de onda 4, com certa defasagem de fase entre si, os quais foram chamados de TO1 e TO2.

Na escala intrassazonal foram destacados os padrões do PAS 1 e PAS 2. Foi notado que, entre os trimestres estudados, há expressiva variabilidade espacial entre os padrões. Entretanto, em todas as estações do ano os centros dos trens

de onda são mais intensos sobre o Oceano Pacífico sudeste, próximo à AS. Essa característica pode ser associada à variabilidade existente próxima à Península Antártica e ter influências da variabilidade do gelo marinho no Mar de Bellingshausen-Amundsen (130°W a 60°W) e de Weddell (60°W a 20°E). Essas são características que precisam ser investigadas em futuros trabalhos. A região do Pacífico é uma região com várias áreas de fonte de ondas de Rossby (SHIMIZU; CAVALCANTI, 2011), as quais poderiam ser também investigadas relacionadas com o presente trabalho.

Através dos compostos pode-se notar que há, principalmente na anomalia de altura Geopotencial e linhas de corrente, uma oposição entre as fases dos padrões, alternando os centros ciclônicos e anticiclônicos dos padrões de onda. Entre os trimestres estudados existe significativa variabilidade, mudanças na intensidade e, em alguns casos, no escoamento do vento em 200hPa.

Com relação aos compostos simultâneos, nas duas escalas foi verificado que a presença do MAS intensifica a influência dos trens de onda sobre a AS, com impacto nas anomalias de precipitação. As principais regiões afetadas pelos trens de onda são o extremo sul e sudeste da AS. Porém, as configurações da circulação sobre o continente nas diferentes fases afetam de maneiras opostas as anomalias de precipitação em outras regiões da AS.

Assim, conclui-se que, embora haja diferença entre as escalas de tempo, nas configurações dos centros de ação dos modos de variabilidade, ambas têm influência na precipitação e na circulação atmosférica sobre a AS. Há também diferenças entre os trimestres, porém sempre apresentando oposição entre as fases dos padrões. A combinação entre os modos de variabilidade produz intensificação ou enfraquecimento dos centros de ação, afetando a precipitação sobre a AS. O MAS e o PAS também podem ter influência nas trilhas de tempestades, através da intensificação ou enfraquecimento das correntes de jato e dos cavados e cristas, tema que também pode ser investigado em estudos futuros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, M. S.; VERA, C. S.; KILADIS, G. N. Intraseasonal variability in South America during the cold season. **Climate Dynamics**, v. 42, p. 3253-3269, 2014.
- AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A. et. al. (Ed. 1). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos. 2009, Cap. 10, p.317-335.
- BALDWIN, M. P.; THOMPSON, D. A critical comparison of stratosphere-troposphere coupling indices. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 135, n. 644, p. 1661–1672, 2009.
- BERBERY, E. H.; VERA, C. S. characteristics of the southern hemisphere winter storm track with filtered and unfiltered data. **Journal of the Atmospheric Science**, v. 53, n. 12, p. 468–481, 1995.
- BJÖRNSSON, H.; VENEGAS, S. A. **A manual for FOE and SVD analysis of climatic data**. Montreal: McGill University, 1997. v. 247, p. 21.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The south Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108, 2004.
- CARVALHO, L. M. V. Opposite phases of the antarctic oscillation and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral summer. **Journal of Climate**, v. 18, p. 702-718. Mar, 2005.
- CHAN, S.C.; BEHERA, S.K.; YAMAGATA, T. Indian Ocean Dipole influence on South American rainfall. **Geophysical Research Letters**, v. 35, L14S12, 2008. doi:10.1029/2008GL034204.
- CUNNINGHAM, C. A. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Intraseasonal modes of variability affecting The South Atlantic Convergence Zone. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1165-1180, 2006.
- DEE, D. P. ET. AL. The ERA-INTERIM reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, p. 553-597, Abr. 2011.

DING, Q.; STEKI, E. J.; BATTISTI, D. S.; WALLACE, J. M. Influence of the Tropics on the Southern Annular Mode. **Journal of Climate**, v. 25, p. 6330-6348, 2012.

DUCHON, C. E. Lanczos filtering in one and two dimensions. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18, p. 1016-1022, 1979.

FREDERIKSEN, J. S., FREDERIKSEN, C. S. Southern Hemisphere storm tracks, blocking, and low-frequency anomalies in primitive equation model. **Journal of the Atmospheric Science**, v. 50, n. 18, p. 3148-3163, 1993.

GILLETT, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. L23704, Dec. 2006.

GONG, D.; WANG, S. Definition of Antarctic oscillation index. **Geophysical Research Letters**, v. 26, p. 459–462, 1999.

GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v. 16, p. 263-280, 2003.

GRIMM, A. M.; PAL, J.; GIORGI, F. Connection between Spring conditions and peak Summer monsoon rainfall in South America: role of soil moisture, surface temperature, and topography in Eastern Brazil. **Journal of Climate**, v. 20, p. 5929-5945, 2007.

HOLTON, J. R. **An introduction to dynamic meteorology**, [S.l.: s.n.], 2004. 239p.

HOSKINS, B. J.; KAROLY, D. J. The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, p. 1179–1196, 1981.

HOSKINS, B. J.; HODGES, K. I. New perspectives on the Northern Hemisphere winter storm tracks. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 59, 2002.

HUANG B.; et. al: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERTSMv5), upgrades, validations, and intercomparisons. **Journal of Climate**, 2017. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0835.3.1.

JAMES I. N. **Introduction to circulating atmospheres**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 422p. (Cambridge Atmospheric and Space Science Series).

- KAYANO , M. T.; KOUSKY, V. E. Intraseasonal (30-90 day) variability in the topics: principal modes and their evolutions. **Tellus**, v. 51A, p. 373-386, 1999.
- KIM, B. M.; LIM, S. J.; CHOI, W. Amplitude-dependent relationship between the southern annular mode and the El Niño Southern Oscillation in Austral Summer. **Journal of Atmospheric Science**, v. 53, p. 85-100, 2017.
- LIEBMANN, B., SMITH, C. A. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, p. 1275-1277, 1996.
- LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; VERA, C. S.; SAULO, A. C.; CARVALHO, L. M. V. Subseasonal variations of rainfall in South America in the vicinity of the low-level jet east of the andes and comparison to those in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 17, n. 19, p. 3829-3842, 2004.
- LORENZ, E. N. Rotation of principal components. **International Journal of Climatology**, v. 6, n. 3, p. 293–335, 1986.
- MARSHALL, G.: Trends in the southern annular mode from observations and reanalyses. **Journal of Climate**, v. 16, p. 4134–4143, 2003.
- MENDES, M. C. D.; CAVALCANTI, I. F. A. The relationship between the Antarctic oscillation and blocking events over the South Pacific and Atlantic Oceans. **International journal of climatology**, 2013.
- MÜLLER, G. V.; AMBRIZZI, T. Teleconnection patterns and Rossby wave propagation associated to generalized frosts over southern South America. **Climate Dynamics**, v. 29, p. 633-645, 2007.
- MO, K.C.; GHILL, M. Statistics and dynamics of persistent anomalies. **International Atmospheric Science**, v. 44, p. 877-901, 1987.
- MO, K.C.; HIGGINS, R. W. The Pacific-South American modes and tropical convection during the Southern Hemisphere Winter. **Monthly Weather Review**, v .126: p. 1581–1598, 1998.
- MO, K. C.; PAEGLE, J. N. The Pacific–South American modes and their downstream impact. **Journal of Climatology**, v. 21, p. 1211–1229, 2001.
- O’KANE, T. J.; MONSELESAN, D. P.; RISBEY, J. S. A Multiscale reexamination of the Pacific–South American Pattern. **American Meterological Society**, v. 145, p. 379-402, 2016.

OLIVEIRA, F. N. M.; AMBRIZZI, T. The effects of ENSO-types and MAS on the large-scale southern blockings. **International Journal of Climatology**, v. 37, p. 3067-3081, 2017.

RAO, V. B.; CARMO, A. M. C.; FRANCHITO, Seasonal variations in the Southern Hemisphere Strilhas de tempestades and associated wave propagation. **Journal of the Atmospheric Science**, v. 59, n. 12, p. 1029–1040, 2002.

RAO, V. B.; CARMO, A. M. C.; FRANCHITO, S. H. Interannual variations of strilhas de tempestades in the southern hemisphere and their connections with the antarctic oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 23, n. 12, p. 1537–1545, 2003.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. D. Relationship between the southern annular mode and the southern hemisphere atmospheric systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 48–55, 2009.

SARDESHMUKH, P. D.; HOSKINS, B. J. The generation of global rotational flow by steady idealized tropical divergence. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 45, n. 7, p. 1228–1251, 1988.

SHIMIZU, M. H., CAVALCANTI, I. F. A. Variability patterns of Rossby wave source. **Climate Dynamics**, v. 37, p. 441–454, 2011.

SILVESTRI, G.; VERA, C. Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. **Geophysical Research Letters**, v. 30, p. 2115, 2003.

SILVESTRI, G.; VERA, C. Nonstationary impacts of the Southern Annular Mode on Southern Hemisphere Climate. **Journal of Climate**, v. 22, p. 6142-6148. Nov, 2009.

TEDESCHI, R. G ET. AL. Influences of two types of ENSO on South American precipitation. **International Journal of Climatology**, v. 33, p. 1382–1400, 2013.

THOMPSON, D.W., WALLACE, J.M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: month-to-month variability. **Journal of Climate**, v. 13, p. 1000–1016, 2000.

TRENBERTH, K. E. Strilhas de tempestades in the Southern Hemisphere. **Journal Atmospheric Science**, v .48, p. 2159–2178, 1991.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme precipitation over southeastern Brazil in the austral summer and relations with the southern hemisphere annular mode. **Atmospheric Science Letters**, v. 11, n. 1, p. 21–26, Jan.-Mar. 2010.

VASCONCELLOS, F. C. **A oscilação Antártica-mecanismos físicos e a relação com características atmosféricas sobre a AS/oceanos adjacentes**. 2012. 192 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.09.19.33-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.

VASCONCELLOS, F. C.; MARTINS, R. P.; CAVALCANTI, I. F. A. Month-to-Month impacts of Southern Annular Mode over South America climate. **Anuário do Instituto de Geociências UFRJ**, v. 42, p. 783-792, 2019.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego, CA: Academic Press, 2006. ISBN 978-0-12-751966-1.

XIE, P.; YATAGAI, A.; CHEN, M.; HAYASAKA, T.; FUKUSHIMA, Y.; LIU, C.; YANG, S. A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia. **Journal Hydrometeorology**, v. 8, p. 607-626, 2007.