



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/03.06.17.50-TDI

**INFLUÊNCIA DAS ESCALAS DE VARIABILIDADE
SINÓTICA, SUBMENSAL E INTRASSAZONAL NAS
REGIÕES TROPICAIS E SUBTROPICAIS DA
AMÉRICA DO SUL E OCEANOS ADJACENTES**

Valesca Rodriguez Fernandes

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs. Nelson Jesus Ferreira, e Gabriela Viviana Müller, aprovada em 24 de maio de 2018.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3QLRDCP>>

INPE
São José dos Campos
2018

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/03.06.17.50-TDI

**INFLUÊNCIA DAS ESCALAS DE VARIABILIDADE
SINÓTICA, SUBMENSAL E INTRASSAZONAL NAS
REGIÕES TROPICAIS E SUBTROPICAIS DA
AMÉRICA DO SUL E OCEANOS ADJACENTES**

Valesca Rodriguez Fernandes

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs. Nelson Jesus Ferreira, e Gabriela Viviana Müller, aprovada em 24 de maio de 2018.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3QLRDCP>>

INPE
São José dos Campos
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Fernandes, Valesca Rodriguez.

F391i Influência das escalas de variabilidade sinótica, submensal e intrassazonal nas regiões tropicais e subtropicais da América do Sul e oceanos adjacentes / Valesca Rodriguez Fernandes. – São José dos Campos : INPE, 2018.

xxiv + 148 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/03.06.17.50-TDI)

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

Orientadores : Drs. Nelson Jesus Ferreira, e Gabriela Viviana Müller.

1. Interação de escalas. 2. Intrassazonal. 3. Sinótica.
4. Submensal. 5. América do Sul. I. Título.

CDU 551.502:551.581.2(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/).

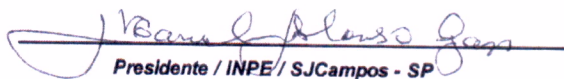
Aluno (a): *Valesca Rodriguez Fernandes*

Título: "INFLUÊNCIA DAS ESCALAS DE VARIABILIDADE SINÓTICA, SUBMENSAL E INTRASSAZONAL NAS REGIÕES TROPICAIS E SUBTROPICAIS DA AMÉRICA DO SUL E OCEANOS ADJACENTES".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de *Doutor(a)* em

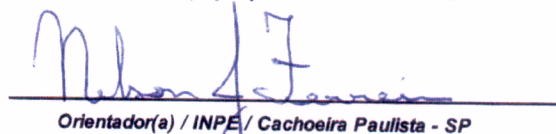
Meteorologia

Dr. Manoel Alonso Gan


Presidente / INPE / SJC Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Dr. Nelson Jesus Ferreira


Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

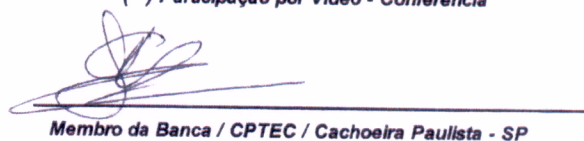
() Participação por Vídeo - Conferência

Dra. Gabriela Viviana Müller


Orientador(a) / CICYTTP/CONCET / Argentina - ARG

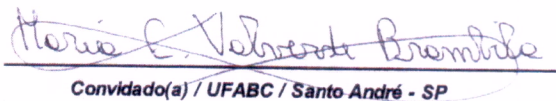
() Participação por Vídeo - Conferência

Dr. Gustavo Carlos Juan Escobar


Membro da Banca / CPTEC / Cachoeira Paulista - SP

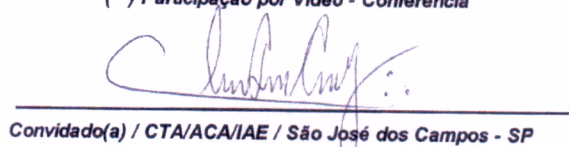
() Participação por Vídeo - Conferência

Dra. Maria Cleofé Valverde Brambila


Convidado(a) / UFABC / Santo André - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Dr. Cleber Souza Corrêa


Convidado(a) / CTA/ACA/IAE / São José dos Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

() unanimidade

“O conhecimento leva você a
grandes conquistas e o direciona ao
caminho da vitória.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito a minha família que esteve ao meu lado durante toda essa caminhada e sempre me deu muito apoio para que eu não desistisse do meu sonho.

Agradeço ao Dr. Nelson Jesuz Ferreira e à Dra. Gabriela Viviana Müller por se disponibilizarem a me orientar, pela paciência e pelos conhecimentos transmitidos no desenvolvimento desta tese de doutorado.

Agradeço, em especial, ao meu namorado Vinicius pela paciência, compreensão e companheirismo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos professores Dr. Marcelo Seluchi, Dr. Gustavo Escobar e Dr. Manoel Gan pelas discussões e contribuições durante o andamento da tese.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial, amigos da DSA que tive o prazer de dividir momentos de descontrações e de trabalho. E também, aos amigos Carlos, Mabel, Guilherme, Mateus e Marcelo Barbio Rosa pelas ajudas fundamentais em linguagens de programação.

Agradeço aos membros da banca, Dr. Manoel Gan, Dr. Gustavo Escobar, Dra. Maria Valverde e Dr. Cleber Corrêa por aceitarem a avaliar este trabalho.

Agradeço a CAPES pela bolsa de estudo, sem a qual não teria sido possível realizar esta tese de doutorado.

RESUMO

No intuito de identificar os modos dominantes de variabilidade da atividade convectiva que atuam nas regiões extratropicais e tropicais da América do Sul (AS) e os oceanos adjacentes, utilizaram-se dois métodos de análise: a Transformada de Ondas (TO) e Padrão de Oscilação Principal (POP). Os dados diários de radiação de onda longa (ROL) foram utilizados como proxies de convecção e referem-se ao período de 1979 a 2016. A TO foi aplicada na série temporal de ROL com intuito de obter a potência espectral (variâncias) nas escalas sinótica, submensal e intrassazonal. Na escala sinótica, observou-se variâncias mais significativas sobre a região tropical associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), na região Sul da AS associadas aos sistemas frontais e ao longo de regiões dominadas por sistemas transientes. Na escala submensal, observaram-se maiores valores de variância nas regiões Centro-oeste e Sudeste do Brasil associado à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e, também se observa no Oceano Pacífico Oeste, Central e nordeste da Austrália devido à atuação da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS). Na escala intrassazonal, os maiores valores de variância foram observados no oceano Pacífico e na região Sudeste e Nordeste da América do Sul que podem estar associados à presença da Oscilação de Madden Julian (OMJ). A fim de investigar os modos dominantes nas escalas de 10-30 e 30-60 dias sobre a AS e oceanos adjacentes utilizou o método POP no período de verão austral de 2006 a 2016. Os resultados para a escala submensal mostram que o modo mais significativo apresenta variância de 17,7%. Esse modo é caracterizado por um trem de ondas, que se propagam do Pacífico na direção leste e associa-se a ZCAS intensificada (suprimida) com supressão (intensificação) da convecção sobre o Sul do Brasil. Na escala intrassazonal, a variância foi de 19,5% e observa-se padrão oscilatório de onda na região do oceano Pacífico Leste com propagação para a região Sudeste e Nordeste do Brasil. A fim de avaliar os padrões de circulação atmosférica em baixos e altos níveis e ROL foram feitos compostos associados ao modo dominante do v300/POP. Na escala submensal, observou-se um dipolo entre a região da ZCAS (associada a maior precipitação) e sul do Brasil (associada a menos precipitação). Na anomalia do vento (altos níveis) destacou-se um padrão ondulado do oceano Pacífico Sul para a AS. Na evolução desse padrão, pode-se verificar a variação na amplitude dos máximos, o que indica propagação de energia. No campo médio e anomalia do vento (baixos níveis) observou-se a presença dos sistemas transientes, as altas ASAS e ASPS, circulação do JBN e convergência dos ventos associados à ZCAS, respectivamente. Na escala intrassazonal, a composição do vento (300 hPa) é similar à escala submensal, porém diferem na posição e intensidade dos sistemas. Na composição de ROL observou-se convecção ativa na região Sudeste do Brasil, associada à ZCAS e, também, a presença da OMJ. Foram feitas análises da energia cinética (EC) para a AS, com intuito de analisar possíveis interações entre os eddies de diferentes escalas de tempo. Resultados encontrados mostraram que a distribuição de EC na escala sinótica concentra-se essencialmente em latitudes médias e altas ao longo das storm tracks. A fonte de energia nessas latitudes origina-se principalmente da conversão baroclínica. Para a escala submensal, a distribuição de EC concentra-se principalmente no Pacífico Sul a oeste dos Andes. O sinal forte de EC nessa região é dominado pela convergência do fluxo de energia. Na faixa dos storm tracks (entre 40° a 50° S) a EC na escala

submensal assemelha-se com o padrão dessa variável na escala sinótica, sendo dominado pelo termo de conversão baroclínica dessa escala. A distribuição de EC no Pacífico Sul para a escala intrassazonal não apresenta um padrão bem definido, ela é caracterizada por sinais positivos e negativos. Por outro lado, no sul da AS e oceanos vizinhos destaca-se sinais positivos a oeste dos Andes e negativos no Atlântico Sudoeste. Essa configuração assemelha-se aos campos da conversão baroclínica e barotrópica, mas com sinais opostos. Assim EC intrassazonal é dominada pelo termo de conversão do fluxo de energia que é forte nessa região. Desta forma, conclui-se que há interação de escalas na América do Sul e oceanos adjacentes, porém a escala submensal apresenta uma amplitude maior que as escalas sinótica e intrassazonal na região sudeste do Brasil.

Palavras-chave: Interação de Escalas. Intrassazonal. Sinótica. Submensal. América do Sul. Sudeste do Brasil.

**INFLUENCE OF SYNOPTIC, SUBMONTHLY AND INTRASEASONAL
VARIABILITY SCALES IN THE TROPICAL AND SUBTROPICAL REGIONS
OF SOUTH AMERICA AND ADJACENT OCEANS**

ABSTRACT

In order to identify the dominant modes of convective activity variability that act in the extratropics and tropics regions of South America (SA) and the adjacent oceans, two methods of analysis were used: the Wavelet Transform (TO) and the Principal Oscillation Pattern (POP). The daily outgoing longwave radiation (OLR) were used as convection proxies and refer to the period 1979 to 2016. The TO was applied in the time series of ROL in order to obtain the global power spectrum (variance) of synoptic, submonthly and intraseasonal scales. In the synoptic scale, the wavelet transform showed the most significant variances on the tropical region associated to the Intertropical Convergence Zone (ITCZ), in the southern region of the SA associated with the frontal systems and along regions dominated by transient systems. In the submonthly scale, the highest values of variance in the central-west and south-eastern regions of Brazil associated with the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) were observed, and it is also observed in the Western Pacific Ocean, Central and Northeastern Australia due to of the South Pacific Convergence Zone (SPCZ). In the intraseasonal scale, the highest values of variance were observed in the Pacific Ocean and in the Southeast and Northeast region of South America that may be associated with the presence of Madden Julian Oscillation (MJO). In order to investigate dominant modes at the 10-30 and 30-60 day scales on AS and adjacent oceans used the POP method in the austral summer period from 2006 to 2016. In the submonthly scale, the most significant variability mode presents a variance of 17.1%. These modes are characterized by wave patterns that propagate from the Pacific in the eastward direction and this wave pattern seems to associate an intensified (suppressed) SACZ with suppression (intensification) of convection over southern Brazil. In the intraseasonal scale, the observed variance was 19.5% and the same oscillatory wave pattern is observed in the region of the Eastern Pacific Ocean with propagation to the southeastern and northeastern region of Brazil. In order to evaluate atmospheric circulation patterns at low and high levels and OLR, composite fields associated with the dominant mode of v_{300} / POP were made. In the submonthly scale, a dipole was observed between the SACZ region (associated to the highest precipitation) and southern Brazil (associated with less precipitation). In the anomaly of the wind (high levels) we highlighted a wave pattern of the South Pacific Ocean for AS. In the evolution of this pattern, one can verify the variation in the amplitude of the maxima, which indicates propagation of energy. In the mean field and wind anomaly (low levels) the presence of transient systems, the ASAS and ASPs highs, the low level jet circulation (LLJ) and the convergence of the winds associated to the SACZ, respectively, were observed. In the intraseasonal scale, the composition of the wind (300 hPa) is similar to the submonthly scale, but they differ in the position and intensity of the systems. In the OLR composition, active convection was observed in the southeastern region of Brazil,

associated to the SACZ and also the presence of the MJO. Kinetic energy balance was analyzed for South America in order to analyze possible interactions between eddies of different time scales. Results showed that the EC distribution in the synoptic scale is mainly concentrated in mid and high latitudes along the storm tracks. The source of energy in these latitudes comes mainly from the baroclinic conversion. For the submonthly scale, the EC distribution is mainly concentrated in the South Pacific west of the Andes. The strong EC signal in this region is dominated by the energy flux convergence. In the band of storm tracks (between 40° and 50° S) the EC on the submonthly scale resembles the standard of this variable in high frequency, being dominated by the baroclinic conversion term of this scale. Finally, the distribution of EC in the South Pacific to the intrastate scale does not present a well-defined pattern, it is characterized by positive and negative signals. On the other hand, in the south of the AS and neighboring oceans there are positive signs to the west of the Andes and negatives in the Southwest Atlantic. This configuration resembles the baroclinic and barotropic conversion fields, but with opposing signs. Thus intraseasonal EC is dominated by the energy flow conversion term that is strong in that region. In this way, it is concluded that there is interaction of scales in South America and adjacent oceans, but the submonthly scale has a greater amplitude than the synoptic and intraseasonal scales in the southeastern region of Brazil.

Keywords: Scales Interaction. Intraseasonal. Synoptic. Submonthly. South America. Southeastern Brazil.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Teleconexões entre as regiões tropicais e extratropicais.....	8
Figura 2.2 - Diagrama esquemática longitude-altura ao longo do equador, ilustrando as características fundamentais de grande escala da Oscilação de Madden-Julian através do seu ciclo de vida.	11
Figura 2.3 - Representação dinâmica da estrutura do vento em grande escala da OMJ.	12
Figura 2.4 - EOF1 e EOF2 para a função de corrente em 200 hPa, onde são evidenciados os modos do PSA.	15
Figura 2.5 - Precipitação acumulada mensal do estado de São Paulo para o ano de 2014.	21
Figura 2.6 - Precipitação acumulada mensal de Bagé/RS para o ano de 2014.....	23
Figura 3.1 - Localização das áreas de estudo da América do Sul e oceanos adjacentes.	27
Figura 4.1 - Variância total de ROL (W^2m^{-4}) durante o verão austral, de 1979-2016....	46
Figura 4.2 - Variância de ROL (W^2m^{-4}) filtradas para a escala sinótica (2- 8 dias) obtida por meio da potência espectral da transformada de ondaletas durante o verão austral de 1979-2016.	47
Figura 4.3 – Porcentagem (%) da variabilidade sinótica em relação à variância total de ROL durante o verão austral, de 1979-2016.	47
Figura 4.4 - Variância das anomalias de ROL (W^2m^{-4}) para a escala submensal obtida por meio da transformada de ondaletas durante o verão austral, de 1979-2016.....	48
Figura 4.5 – Porcentagem (%) da variabilidade submensal em relação à variância total de ROL durante o verão austral, de 1979-2016.....	49
Figura 4.6 - Variância das anomalias de ROL (W^2m^{-4}) para a escala intrassazonal obtida por meio da transformada de ondaletas durante o verão austral, de 1979-2016.....	50
Figura 4.7 – Porcentagem (%) da variabilidade intrassazonal em relação à variância total durante o verão austral, de 1979-2016.	51

Figura 4.8 - Carta sinótica de a) superfície e b) altitude (250 hPa) no dia 12 de janeiro de 2011 às 12Z.	53
Figura 4.9 - Características das escalas da série temporal de ROL centrada em 20°S e 45.2°W (posição da ZCAS) durante o período de 01 de Novembro de 2010 a 31 de janeiro de 2011 a) <i>Wavelet Power Spectrum</i> (Morlet wavelet) mostrando contornos com variâncias normalizadas em várias escalas (Superposta a Figura destaca-se em vermelho a potência espectral e o cone de influência). No eixo das abscissas o espaçamento é de 50 em 50 dias e valor 375 corresponde ao dia 11 de janeiro de 2011, b) Harmônicos (amplitude) significativos da transformada de ondaletas. Linha azul representa a atuação simultânea das escalas sinótica, submensal e intrassazonal durante o evento.	56
Figura 4.10 - Valores dos harmônicos do global wavelet spectrum de ROL, em função de: a) longitude (ao longo de 17.5°S) e b) latitude (ao longo de 42.5°W). A potência dos harmônicos é mostrada pelos vários níveis da intensidade das escalas de cores. Os períodos são apresentados em escala logarítmica. ...	58
Figura 4.11 - Campo espacial médio da variância de ROL (W^2m^{-4}) para as faixas espectrais das escalas a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal durante o período de 05 a 12 de janeiro de 2011.....	60
Figura 4.12 - Valores dos harmônicos do global wavelet spectrum de ROL, em função de: a) longitude (ao longo de 22.5°S) e b) latitude (ao longo de 44.0°W). A potência dos harmônicos é mostrada pelos vários níveis da intensidade das escalas de cores. Os períodos são apresentados em escala logarítmica. ...	62
Figura 4.13 - Campo espacial médio da variância de ROL (W^2m^{-4}) para as faixas espectrais das escalas a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal durante o período de 09 a 16 de fevereiro de 2011.	63
Figura 4.14 - Valores dos harmônicos do global wavelet spectrum de ROL, em função de: a) longitude (ao longo de 22.5°S) e b) latitude (ao longo de 44.0°W). A potência dos harmônicos é mostrada pelos vários níveis da intensidade das escalas de cores. Os períodos são apresentados em escala logarítmica. ...	65

Figura 4.15 - Campo espacial médio da variância de ROL (W^2m^{-4}) para as faixas espectrais das escalas sinótica, submensal e intrassazonal durante o período de a) 22 a 25 de dezembro de 2014.....	66
Figura 4.16 - Série temporal de ROL para a escala sinótica (linha azul), submensal (linha vermelha) e intrassazonal (linha verde) durante o período de DJF de 2014/2015 na região Sudeste da América do Sul.	68
Figura 4.17 - Imagem do satélite GOES-13 no canal infravermelho no dia 22 de dezembro de 2014 às 19:30 UTC.....	69
Figura 4.18 - Vento (linhas de corrente) em a) baixos (850 hPa) e b) altos (300 hPa) níveis no dia 22 de dezembro de 2014.	70
Figura 4.19 - Umidade específica em baixos níveis (850 hPa) no dia 22 de dezembro de 2014.....	71
Figura 5.2 – Evolução espacial do primeiro modo do POP para o vento meridional em 300 hPa na escala submensal (10-30 dias).	79
Figura 5.3 – Evolução espacial do segundo modo do POP para o vento meridional em 300 hPa na escala submensal (10-30 dias).	82
Figura 5.4 - Amplitude do primeiro modo submensal do POP para a componente meridional do vento em 300 hPa.....	85
Figura 5.5 - Composição de ROL (Wm^2) para a escala submensal.....	86
Figura 5.6 - Anomalia de ROL (Wm^2) para a escala submensal.	87
Figura 5.7 - Composição do vento (linhas de correntes) em 300 hPa (ms^{-1}) para a escala submensal.	88
Figura 5.8 – Anomalia do vento (linhas de correntes) em 300 hPa (ms^{-1}) para a escala submensal.	89
Figura 5.9 - Composição do vento (linhas de correntes) em 850 hPa (ms^{-1}) para a escala submensal.	90
Figura 5.10 – Anomalia do vento (linhas de correntes) em 850 hPa (ms^{-1}) para a escala submensal.	92
Figura 5.11 - Evolução espacial do primeiro modo do POP para o vento meridional em 300 hPa na escala intrassazonal (30-60 dias).	96

Figura 5.12 - Evolução espacial do segundo modo do POP para o vento meridional em 300 hPa na escala intrassazonal (30-60 dias).	100
Figura 5.13 - Amplitude do primeiro modo do POP para v300 na escala intrassazonal (30-60 dias).	102
Figura 5.14 - Composição de ROL (Wm^2) para a escala intrassazonal.	103
Figura 5.15 - Anomalia de ROL (Wm^2) para a escala intrassazonal.	104
Figura 5.16 - Composição do vento (linhas de correntes) em 300 hPa (ms^{-1}) para a escala intrassazonal.	105
Figura 5.17 - Anomalia do vento (linhas de correntes) em 300 hPa (ms^{-1}) para a escala intrassazonal.	105
Figura 5.18 - Composição do vento (linhas de correntes) em 850 hPa (ms^{-1}) para a escala intrassazonal.	106
Figura 5.19 – Anomalia do vento (linhas de correntes) em 850 hPa (ms^{-1}) para a escala intrassazonal.	107
Figura 6.1 – Anomalias da componente real da transformada de ondaletas da série temporal de ROL para as escalas a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal durante o verão austral de 1979-2016.	112
Figura 6.2 - Seções transversais latitude versus altura, da média zonal climatológica dos termos do balanço de energia cinética turbulenta (Eddy Kinetic Energy) para eddies de alta frequência (HF) a) conversão baroclínica (BCH) (hachurado) da EC (contornos), b) conversão barotrópica (BTH) (hachurado) da EC (contornos), c) convergência do fluxo de energia (EFCH) da EC (contorno) e d) termo de produção da EC (contorno) via frequência-cruzada entre os eddies (CFEIH) (hachurado). Unidades em $J/m^3/dia$. Análises feitas para o verão austral de 1979 a 2016.....	116
Figura 6.3 – Padrão espacial dos termos de conversão baroclínica (m^2s^{-2}/dia): a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal.	119
Figura 6.4 - Padrão espacial dos termos de conversão barotrópica (m^2s^{-2}/dia): a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal.	120
Figura 6.5 - Padrão espacial dos termos da convergência do fluxo de energia (m^2s^{-2}/dia): a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal.	122

Figura 6.6 – Padrão espacial dos termos de produção da EC via frequência-cruzada (m^2s^{-2} /dia): a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal.	124
Figura 6.7 – Padrão espacial do Balanço de Energia Cinética para as escalas a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal.	126

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 5.1 Parâmetros estatísticos do POP para a escala submensal.	76
Tabela 5.2 – Parâmetros estatísticos do POP para a escala intrassazonal.	93
Tabela 6.1 - Termos da Energia Cinética (m^2s^{-2}/dia) para a média em área da região Sudeste (lat=27°S, lon=310°W, lat2=22°S, lon2=315°W) nas escalas sinótica, submensal e intrassazonal, respectivamente.....	128

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AS	América do Sul
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASPS	Alta Subtropical do Pacífico Sul
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CEOF	Função Ortogonal Empírica Complexas
CGMs	Modelos de Circulação Geral
ENOS	El- Niño Oscilação Sul
EOF	Função Ortogonal Empírica
JBN	Jato de Baixos Níveis
JST	Jato Subtropical
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
OMJ	Oscilação de Madden-Julian
PNA	Pacífico- América do Norte
PSA	Pacífico- América do Sul
POP	Padrão de Oscilação Principal
ROL	Radiação de Onda Longa
TFJ	Transformada de Fourier Janelada
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TO	Transformada de ondaletas
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul
OIS	Oscilação Intrassazonal

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1.1 Modos de variabilidade intrassazonal que atuam na América do Sul	9
2.1.1.1 Oscilação de Madden Julian (OMJ)	9
2.1.1.2 Modo Pacífico América do Sul (PSA).....	13
_Toc5191799942.2 Variabilidade submensal	16
2.3 Variabilidade sinótica	19
2.4 Eventos de precipitação intensa na América do Sul	20
2.5 Energética	25
3 DADOS E METODOLOGIA	27
3.1 Dados	27
3.2 Metodologia.....	29
3.2.1 Transformada de Ondas	29
3.2.2 Padrão de Oscilação Principal (POP- em inglês Principal Oscillation Pattern)....	32
3.2.3 Análises do Balanço de Energia Cinética (BEC).....	39
4 ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE ROL	45
4.1 Padrões espaciais da potência espectral (variância) de ROL	45
4.2 Características das escalas temporais de ROL no Sudeste do Brasil.....	51
4.2.1 Evento de precipitação no Sudeste do Brasil entre os dias 5 a 12 de janeiro de 2011	52
4.2.2 Evento de precipitação no Sudeste do Brasil entre os dias 9 e 16 de fevereiro de 2011	61
4.2.3 Evento de precipitação no Sudeste do Brasil entre os dias 22 e 25 de dezembro de 2014.....	64
4.3 Discussões dos resultados.....	71
5 MODOS DE VARIABILIDADE DO VENTO NA ALTA TROPOSFERA	75
5.1 Análises dos modos de variabilidade do vento meridional em 300hPa.....	75
5.2 Análises da escala submensal	75

5.2.1 Padrão espacial do modo dominante da componente meridional do vento em 300 hPa	76
5.2.2 Amplitude do modo dominante	84
5.2.3 Compostos de ROL e do vento em altos e baixos níveis.....	85
5.3 Análises da escala intrassazonal	92
5.3.1 Padrão espacial do modo dominante do POP da componente meridional do vento em 300 hPa	94
5.3.2 Amplitude do modo dominante	102
5.3.3 Compostos de ROL e do vento em altos e baixos níveis.....	102
5.4 Discussões dos resultados.....	107
6 ANÁLISES DO BALANÇO DE ENERGIA CINÉTICA	111
6.1 Estrutura vertical das componentes do BEC	113
6.2 Padrões espaciais das componentes do BEC na América do Sul e oceanos adjacentes	117
6.3 Análises dos padrões espaciais do BEC nas escalas sinótica, submensal e intrassazonal	124
6.4 Termos dominantes do BEC das escalas sinótica, submensal e intrassazonal na região Sudeste do Brasil	127
6.5 Discussões dos resultados.....	128
7. CONCLUSÕES.....	132
7.1 Sugestões para trabalhos futuros	135
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137

1 INTRODUÇÃO

O sistema oceano-atmosfera apresenta variabilidade em diversas escalas espaciais e temporais, dentre elas está o ciclo diurno ou diário que pode ser mencionado como o ciclo diário do sol; a escala sinótica que envolve uma variação de poucos dias, como por exemplo, os sistemas frontais que variam de 2 a 8 dias; a escala intrassazonal que apresenta variação de 20-100 dias, exemplificada pela Oscilação de Madden-Julian (OMJ); o ciclo sazonal pode ser considerado o ciclo anual do sol e a variabilidade interanual que tem como exemplo o El Niño que varia de 3 a 7 anos.

As interações do sistema oceano-atmosfera ocorrem nas escalas espaciais e temporais supracitadas, e apresentam conexão com pequenas variações ou forçantes sazonais. A variabilidade entre as diversas escalas observadas na atmosfera sugerem a investigação das causas e mecanismos deste complexo “feedback”. Estas oscilações podem estar associadas a ciclos quase periódicos, assim apresentando características lineares e não-lineares. O conhecimento das diferentes escalas de tempo e de suas interações é de grande importância para o entendimento da dinâmica dos sistemas climáticos (CASTRO et al., 2006).

Nos estudos de escala intrassazonal, as oscilações são caracterizadas por um deslocamento para leste de uma célula zonal de grande escala termicamente direta, que causa variações na convecção tropical. Esta descoberta foi feita a partir de estudos aplicando a metodologia de análise espectral nos dados tropicais de radiossonda, onde os autores detectaram e documentaram oscilações na atmosfera tropical, com período de 40 a 50 dias, denominado OMJ (MADDEN; JULIAN, 1971,1972). Na América do Sul, a OMJ tem sido relacionada às variações na posição e intensidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (CASARIN; KOUSKY, 1986, KOUSKY; KAYANO, 1993, 1994), por sua vez associadas às flutuações na escala de tempo intrassazonal da circulação atmosférica global da alta troposfera e da convecção tropical (CASARIN; KOUSKY, 1986; KAYANO;KOUSKY, 1992).

Também, há estudos da variabilidade intrassazonal associados aos eventos extremos. Estes eventos extremos como inundações ou secas apresentam grandes impactos socioeconômicos, afetando vários setores da economia, como agricultura, energia, entre outros setores que causam grandes transtornos à população. As inundações são devidas à ocorrência de extremos de precipitação a partir de sistemas meteorológicos de escala sinótica, meso e grande escala. Ao contrário, as secas estão associadas à falta de ou influência destes sistemas (FERRAZ, 2004; MUZA et al., 2009).

Segundo Cavalcanti (2012), as características associadas aos extremos de precipitação na América do Sul são afetadas por características de grande escala e por diferentes sistemas meteorológicos. Eventos extremos ocorrem em diversas escalas de tempo como, diária, mensal e sazonal. Inundações e deslizamentos de terra ao longo da costa leste da América do Sul ocorrem devido à precipitação excessiva em uma escala de tempo diária e estão relacionados com células convectivas profundas, muitas vezes embutidas em sistemas sinóticos que podem persistir sobre a região. Aglomerados de nuvens convectivas podem se desenvolver ao longo da região tropical e produzir precipitação intensa. Em escalas de tempo mensais e sazonais, anomalias de precipitação intensa podem causar danos na agricultura e pecuária, afetam os recursos hídricos e energia hidrelétrica, e também impactam sobre áreas urbanas.

As ocorrências dos extremos de precipitação sobre a América do Sul podem estar associadas com anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico (GRIMM; TEDESCHI, 2009) e no Oceano Atlântico (GOOD et al., 2008), padrões de teleconexões (VASCONCELLOS;CAVALCANTI, 2010a), sistemas sinóticos, tais como sistemas frontais (VASCONCELLOS;CAVALCANTI, 2010b), os sistemas persistentes, como a ZCAS (CARVALHO et al., 2002a, 2004) e de grandes complexos convectivos de mesoescala (CCM), a leste dos Andes (DURKEE et al., 2009). Esses sistemas fornecem o ambiente favorável no qual a instabilidade convectiva em pequena escala pode desenvolver nuvens complexas. Tempestades extremas foram

identificadas na região subtropical da América do Sul em análises de dados do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) por Zipser et al (2006).

Castro (2002) estudou a interação trópicos-extratropicos na escala de tempo intrassazonal e seus efeitos na América do Sul. Segundo ele, os resultados mostraram claramente a OMJ propagando-se no cinturão equatorial com um período aproximado de 50 dias, e apresentando uma forte característica de dipolo zonal de convecção, entre a Indonésia e o Pacífico Oeste. Foi também observada uma fase oposta de atividade convectiva entre a Indonésia e a América do Sul tropical. Notou-se que a ZCAS ocorrendo em latitudes mais tropicais recebe a influência mais forte do modo equatorial de OMJ, enquanto a ZCAS nas outras regiões, recebe a influência do modo interação trópicos/extratropicos tipo Pacífico América do Sul (PSA). Estudos de Blazquez e Solman (2016) mostraram relações entre a atividade frontal e os padrões de PSA e o impacto nas precipitações sobre a América do Sul. Liebmann et al. (2004) também indicaram que a fase do trem de onda que se origina no Oceano Pacífico em direção à América do Sul pode determinar se a precipitação será intensificada ou não na região de atuação da ZCAS.

Segundo Ferraz (2004) e Muza et al. (2009), os eventos extremos que ocorrem na América do Sul influenciados pela variabilidade intrassazonal, a qual pode ser identificada por dois modos, a OMJ e a PSA. Tanto o modo equatorial OMJ, quanto a PSA estão associados à atividade convectiva na escala, sobre a América do Sul. Nas regiões Sul e Sudeste da América do Sul, Liebmann et al. (1999); Carvalho et al.; (2004); Muza (2005); Nogués-Paegle e Mo (1997), entre outros, observaram que a atividade de propagação preferencial do trem de ondas de latitudes médias para a região da ZCAS parece ser o fator determinante para a periodicidade da intensificação ou supressão de convecção. Este comportamento tem sido identificado como um padrão de gangorra norte-sul de precipitação entre a região de posicionamento médio da ZCAS e o sul do Brasil. A intensificação da convecção na ZCAS ocorre em associação com fraca atividade convectiva no sul do Brasil, e vice-versa. Entretanto, quando se tem o padrão de gangorra mais definido, a intensificação (ou supressão) da convecção na ZCAS

encontra-se mais deslocada para o oceano (CARVALHO et al., 2004). O deslocamento da alta subtropical no Atlântico Sul (ASAS) é considerado a principal característica para a manifestação da gangorra (NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997; GRIMM et al., 2000). Nogués-Paegle e Mo (1997) encontraram que o período entre uma fase e a outra no padrão de gangorra é de aproximadamente 10 dias, sendo a magnitude possivelmente associada a oscilações intrasazonais.

Motivada pelos estudos supracitados, o foco desta pesquisa visa analisar a influência dos modos de variabilidade intrassazonal, submensal e sinótica nos extratropicos e trópicos da AS e oceanos adjacentes, explorando os processos físicos e características da circulação atmosférica associada. Assim, uma importante justificativa para este estudo é o impacto social e econômico causado pelos modos de variabilidade nas regiões de estudo, associadas aos eventos de precipitação que causam grandes danos socioeconômicos em grande parte das regiões extratropicais da América do Sul. Sobre essas temáticas diversas questões científicas ainda estão em aberto. Por exemplo:

- 1) Quais modos dominam a variabilidade das escalas sinótica, submensal e intrassazonal nos extratropicos da América do Sul e oceanos adjacentes nos períodos de convecção durante o verão austral?
- 2) Existe interação das escalas sinótica, submensal e intrassazonal nas regiões extratropicais da América do Sul, com ênfase na região sudeste do Brasil, e oceanos adjacentes?
- 3) Quais processos físicos atuam no desenvolvimento dos sistemas meteorológicos nas escalas sinótica, submensal e intrassazonal na América do Sul?

O objetivo geral deste estudo, baseado nestas perguntas, é analisar como os modos de variabilidade intrassazonal, submensal e sinótica associados à atividade convectiva influenciam na América do Sul, com ênfase na região Sudeste do Brasil e explorando os processos físicos e as características da circulação atmosférica associada.

Especificamente pretende-se:

- a) Analisar os campos de potência espectral (variância) das escalas sinótica, submensal e intrassazonal a fim de evidenciar os ciclos dominantes da atividade convectiva nos extratropicos e trópicos da América do Sul e oceanos adjacentes em termos de intensidade, localização geográfica durante o verão austral (DJF).
- b) Avaliar a influência das escalas dos sistemas de tempo associadas à ocorrência de intensa precipitação na região Sudeste do Brasil.
- c) Analisar e caracterizar a oscilação intrassazonal e submensal na América do Sul e oceanos adjacentes em termos de períodos de propagação, ciclo de vida e intensidade e compostos.
- d) Determinar os processos fundamentais no desenvolvimento dos sistemas meteorológicos a partir da análise dos termos da Energia Cinética.

Neste contexto, o trabalho está organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica e revisão bibliográfica, que servirá de embasamento teórico para a metodologia a ser utilizada no estudo proposto. Os Capítulos 3 descrevem os dados e a metodologia utilizada no estudo. O Capítulo 4 descreve os resultados com o uso da metodologia transformada de ondaletas visando alcançar os objetivos apresentados anteriormente. O Capítulo 5 apresenta os resultados utilizando a metodologia do POP e o Capítulo 6 mostra os resultados da energia cinética. O Capítulo 7 apresenta as conclusões e sugestões dos trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão expostos alguns resultados dos estudos sobre a influência da variabilidade intrassazonal, submensal e sinótica nos eventos extremos na América do Sul. Primeiramente, serão definidos alguns conceitos básicos sobre variabilidade intrassazonal e os modos desta variabilidade, a variabilidade submensal e sinótica e suas influências nos eventos de precipitação nas regiões de estudo.

2.1 Variabilidade Intrassazonal

A variabilidade intrassazonal (VI) refere-se à variabilidade em escalas de tempo de 10-100 dias. A importância da oscilação intrassazonal tropical em escalas de tempo e clima tem sido cada vez mais evidente em estudos climáticos. Recentemente, constatou-se que as perturbações intrasazonais tropicais na atmosfera estão intimamente ligadas à variabilidade em outros componentes do sistema terrestre (LAU;WALISER, 2012). Segundo Kousky e Kayano (1994), a VI está relacionada às variações de fenômenos de grande escala como lentos deslocamentos de vórtices ciclônicos subtropicais em altos níveis ou frentes frias estacionárias.

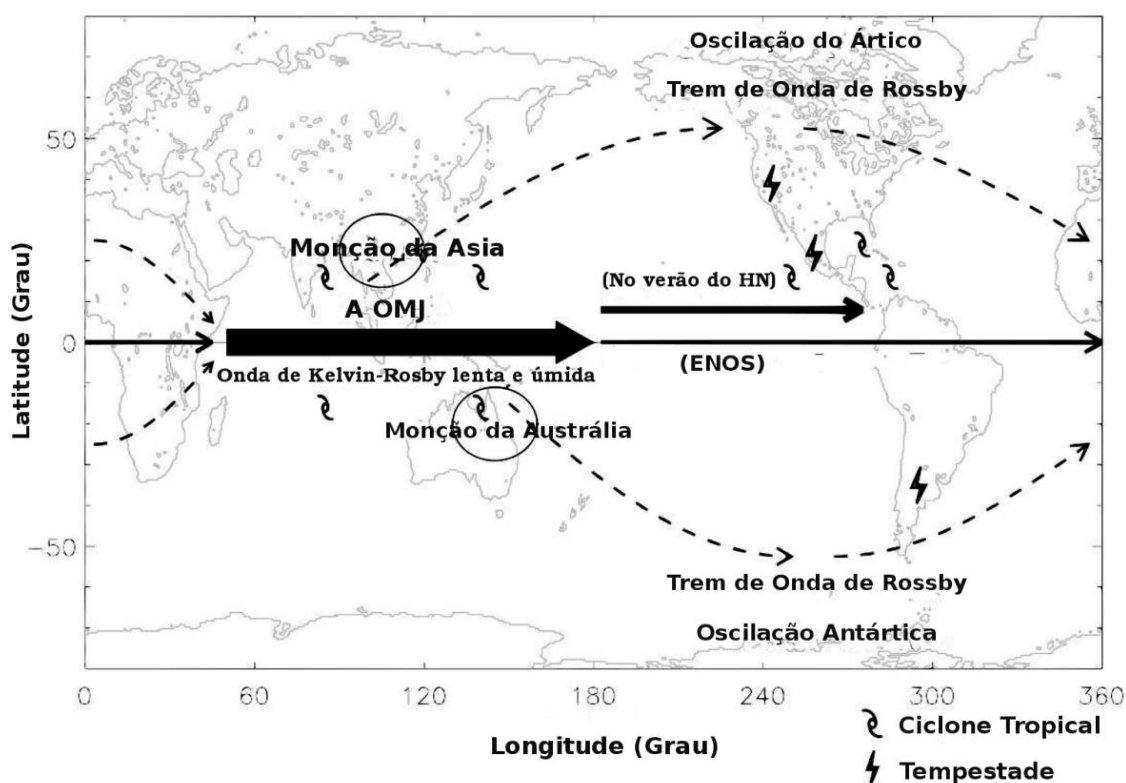
O sinal intrassazonal exibe complexidade nos aspectos espacial e temporal, e dois fenômenos persistentes aparecem nesta banda, os quais são i) anomalias temporalmente recorrentes e geograficamente fixas, como bloqueios e vários padrões regionais de teleconexão; ii) ondas com extensivos, mas bem definidos, picos espectrais em frequência, progressivas ou estacionárias no espaço (FERRAZ, 2004).

Nos próximos tópicos, serão descritos detalhadamente os tipos de modos da variabilidade intrassazonal atuantes na América do Sul, os quais são: Oscilação de Madden Julian (OMJ) e Pacífico América do Sul (PSA). Na Figura 2.1 são mostradas as teleconexões que atuam nas regiões extratropical e tropical da América do Sul. Observa-se o trem de ondas de Rossby, o qual é considerado o modo PSA.

Essas teleconexões são consideradas conexões à distância, o que significa que uma forçante local produz alterações na circulação atmosférica em regiões mais afastadas. O

estudo das teleconexões e a análise das influências na estrutura horizontal da circulação atmosférica são úteis para compreensão da ocorrência de eventos atmosféricos em várias regiões do globo. Diversos trabalhos (MO; GHIL, 1987, WALLACE; GUTZLER, 1981) mostraram os padrões de teleconexão e seu impacto nas condições de tempo e clima. Mo e Ghil (1987) observaram a conexão entre o Pacífico Sul e o Atlântico Sul, a qual é chamada como PSA e será discutida mais adiante. Além da PSA, na escala intrassazonal temos a OMJ que apresenta impacto na AS durante o verão e, na escala interanual observa-se o fenômeno El Niño que impacta na precipitação do sul e nordeste do Brasil (PEZZI; CAVALCANTI, 2001).

Figura 2.1 - Teleconexões entre as regiões tropicais e extratropicais.



Fonte: Oliveira (2013) – adaptada de Lin et al.(2006).

2.1.1 Modos de variabilidade intrassazonal que atuam na América do Sul

Nesta seção, são descritos resumidamente os modos de variabilidade intrassazonal que apresentam impacto na América do Sul, exemplificando suas teorias e observações, as características e os mecanismos de formação destes modos. Os modos de variabilidade intrassazonal são a Oscilação de Madden-Julian e o modo Pacífico América do Sul.

2.1.1.1 Oscilação de Madden Julian (OMJ)

a) Teorias e observações

A Oscilação de Madden-Julian (OMJ) é considerada uma flutuação intrassazonal (30-90 dias) que controla a variabilidade tropical e apresenta propagação da convecção sobre a região de “piscina quente” do Oceano Índico para o Pacífico Ocidental, esta oscilação propaga-se para leste lentamente (5m/s) (MADDEN; JULIAN, 1971, 1972; ZHANG, 2005). A OMJ apresenta sinal em variáveis meteorológicas como velocidade e direção do vento, pressão ao nível médio do mar, nebulosidade, TSM e evaporação do oceano/superfície. Além de influenciar na circulação atmosférica e temperatura da superfície em torno dos trópicos e subtropicais. Estudos mostram que são interessantes e importantes os estudos da OMJ, não só por causa de sua posição especial na circulação geral tropical, mas também por causa de seu amplo impacto sobre vários aspectos de tempo e de clima. A maior importância da OMJ é, talvez, o seu desafio para a nossa compreensão da dinâmica e física da atmosfera tropical fundamentais. Neste sentido, a OMJ deve ser um dos temas centrais de pesquisas no estudo de clima tropical, circulação atmosférica e do clima.

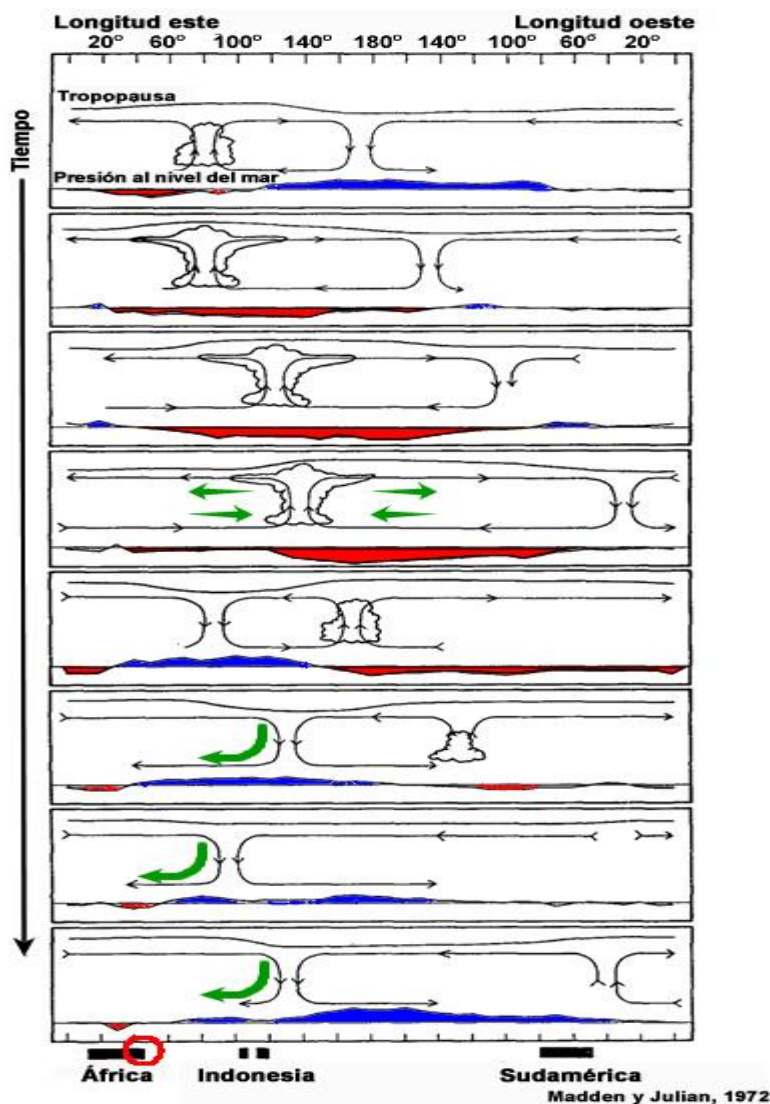
b) Características da OMJ:

Segundo os autores (ZHANG, 2005; LAU, WALISER, 2012), entre outros a OMJ apresenta as seguintes características gerais:

Associa-se a duas fases diferentes, ou seja, uma convergente, onde a convecção é suprimida e outra divergente que favorece a convecção e a precipitação. Analisando a Figura 2.2, nota-se que há convergência na troposfera inferior e divergência na

troposfera superior, com região de convecção no Oceano Índico, enquanto que no Pacífico Ocidental têm-se subsidência ou inibição da formação de nuvens. Esta onda como foi dito anteriormente se propaga para leste, deslocando-se a convecção do Oceano Índico para o Pacífico Ocidental. Estudo (KAYANO; KOUSKY, 1992) mostrou que o sinal da OMJ é identificado nas anomalias de radiação de onda longa (ROL) com a convecção tropical, sendo forte no Pacífico oeste e no oceano Índico, quase imperceptíveis no Pacífico Leste e fracos sobre a África e a América do Sul (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Diagrama esquemática longitude-altura ao longo do equador, ilustrando as características fundamentais de grande escala da Oscilação de Madden-Julian através do seu ciclo de vida.

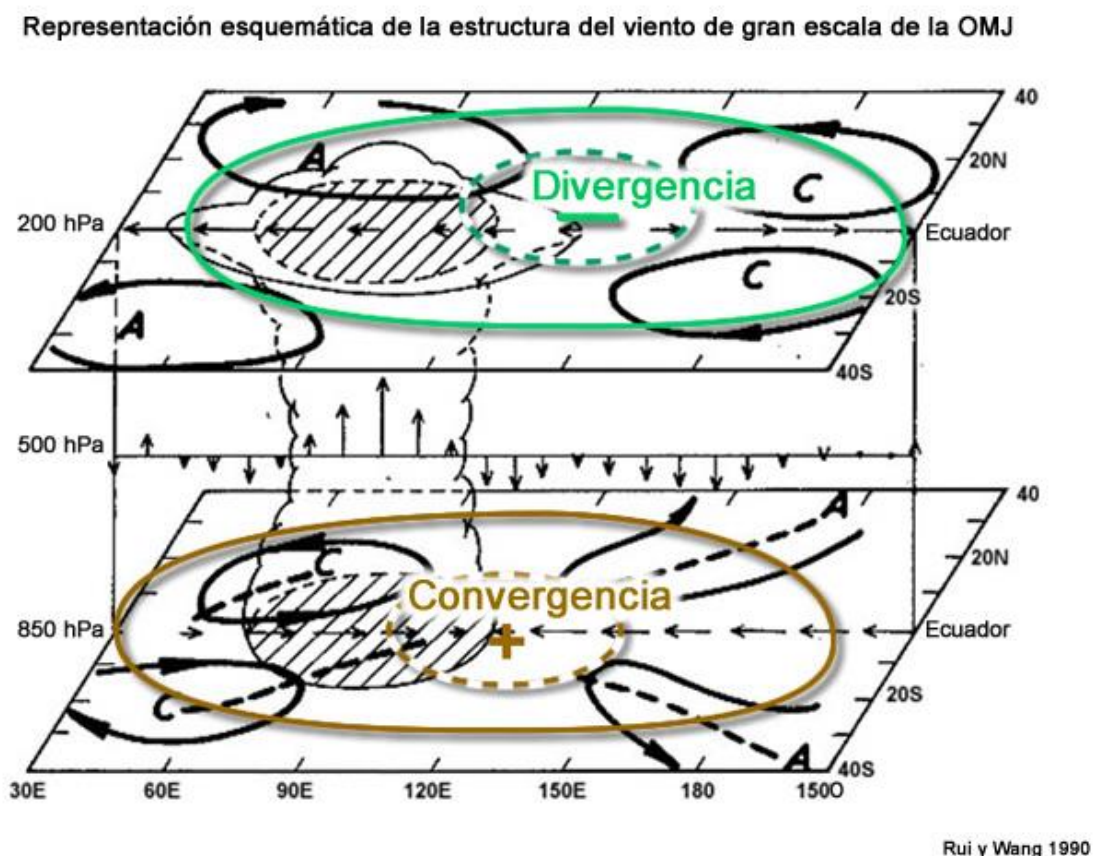


Fonte: Madden e Julian, 1972.

Na Figura 2.3, é mostrada a representação da estrutura do vento em grande escala (RUI;WANG, 1990). Observa-se que o ar, ao redor do Equador, em superfície flui para longe da convecção suprimida em ambas as direções zonais para regiões de convecção aprimorada. Com a aproximação da convecção, ventos de leste (oeste) são reforçados no Equador na troposfera inferior (superior). Em baixos níveis (850mb), há giros anticiclônicos e em altos níveis (200mb), giros ciclônicos. Associado, e atrás da

convecção, são ventos de oeste (leste) em baixos (altos) níveis. Na troposfera inferior, há ciclones e na troposfera superior, anticiclones. No nível de 500mb, o impacto é notado no campo de movimento vertical, com movimentos ascendentes na zona de convecção e movimentos descendentes a neutros no restante do domínio equatorial. Esta estrutura é uma reminiscência de uma onda de Rossby ao oeste da convecção, e uma onda de Kelvin para leste da convecção.

Figura 2.3 - Representação dinâmica da estrutura do vento em grande escala da OMJ.



Fonte: Meted/UCAR (University Corporation for Atmospheric Research) – adaptado de Rui e Wang (1990).

c) Mecanismos de formação

Acreditava-se que a liberação de calor latente era a responsável pela convecção tropical. De acordo com Matsuno e Gill (1966, 1980), que documentou as estruturas das ondas tropicais e mostrou como estas ondas eram forçadas pela convecção. Uma destas ondas são as ondas de Kelvin equatorial que se propagam para leste como a OMJ. Porém, esta oscilação apresenta velocidade de fase de aproximadamente 12-22 m/s sendo mais rápida que a OMJ e que circunda o equador em torno de 7 dias.

Muitos estudos teóricos foram feitos para compreender quanto à fonte para a formação desta oscilação. Existem duas maneiras, uma a partir de forçantes internas e a outra de forçantes externas. Se a OMJ é forçada internamente, significa que a OMJ é responsável por criar sua própria fonte de energia. E se for a partir de forçantes externas, expressa que existem outros fenômenos que interagem para sua formação e duração. Assim, podemos exemplificar as forçantes internas como: onda CISK que se baseia na convergência de umidade da camada limite em uma organização de forças convectivas na região de baixa pressão na mesoescala; O feedback evaporação de superfície (Wische) e o transporte de umidade de outras regiões. Estas teorias apresentam semelhança, pois a fonte local é a instabilidade que ajuda no crescimento de padrões atmosféricos da OMJ.

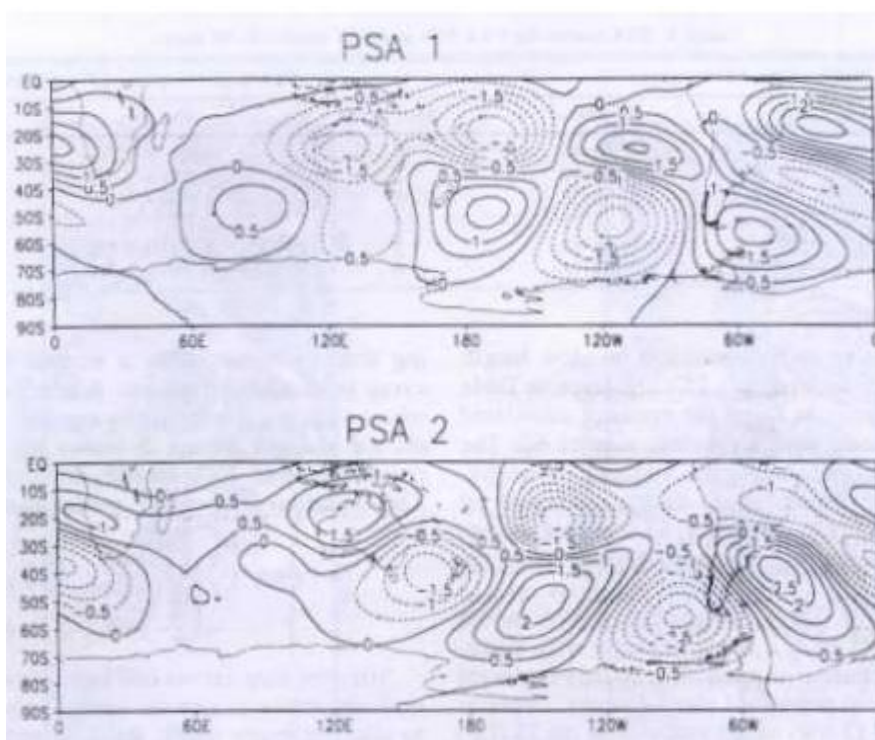
As forçantes externas podem ser exemplificadas como: flutuações intrasazonais da monção de verão asiático, a qual se baseia na interação entre a evaporação da superfície, convecção e radiação levando a uma oscilação estacionária na precipitação das monções; forçantes estocásticas da convecção na região de pico da OMJ baseada no mecanismo de geração de energia para manter a OMJ, a convecção local de curta duração e, forçantes a partir das latitudes médias, onde há o acoplamento entre a OMJ e distúrbios baroclínicos de latitudes mais altas que podem amplificar a OMJ.

2.1.1.2 Modo Pacífico América do Sul (PSA)

a) Teoria e observações

O modo Pacífico América do Sul (PSA) é considerado um modo extratropical-intrassazonal, observado na circulação atmosférica da América do Sul (AS), a qual é uma propagação de trens de ondas de latitudes médias que se originam da área de convecção do Pacífico Sul em direção a AS (CARVALHO et al., 2004; FERRAZ, 2000 E 2004; LIEBMANN et al., 1999; LIEBMANN et al., 2004; MARTON, 2000; PAEGLE; MO, 2000). Nogués-Paegle e Mo (1997) observaram que este trem de ondas aparece antecedendo em aproximadamente oito dias um evento de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Marton (2000) referenciou esse trem de ondas como um padrão de teleconexão denominado PSA (Pacific South American – Pacífico-América do Sul) análogo ao conhecido PNA (Pacific North American – Pacífico-América do Norte; TRENBERTH et al., 1998). O PSA estaria relacionado a dois modos de baixa frequência, os quais são caracterizados pelo número de onda 3 e oscilam em quadratura (Figura 2.4). Quando estes modos encontram-se juntos representam a oscilação intrassazonal no Hemisfério Sul com período de 40 dias. Este número de onda tem sido associado a casos de bloqueio no Hemisfério Sul (TRENBERTH; MO, 1985) e a região Sul da América do Sul é afetada por esta configuração quando o centro positivo ou negativo localiza-se no sudeste do Brasil (CAVALCANTI, 1992).

Figura 2.4 - EOF1 e EOF2 para a função de corrente em 200 hPa, onde são evidenciados os modos do PSA.



Fonte: Mo e Higgins (1998).

A propagação de trens de ondas do Pacífico Sul para a AS é associada à intensificação ou supressão da convecção na ZCAS, tanto na região oceânica, quanto sobre o continente (CARVALHO et al., 2004). Alguns autores sugerem que as características espaciais e temporais da convecção na ZCAS sejam moduladas pela convecção da Zona de Convergência do Pacífico Sul através desse trem de onda (CASARIN; KOUSKY, 1986; GRIMM; SILVA DIAS, 1995; MARTON, 2000; PAEGLE; MO, 2000). Segundo Ferraz (2000, 2004), este trem de onda relacionado à intensificação da convecção da ZCAS tem origem no Pacífico central subtropical na banda de 20-30 dias, enquanto que na banda de 30-70 dias, observa-se sua origem no sudoeste da Austrália.

b) Características gerais

O modo PSA tem influências sobre a América do Sul em várias escalas de tempo, tais como intrasazonais e interanuais. De acordo com Cavalcanti e Shimizu (2012), a PSA

apresenta características diferentes em estações diferentes. Durante o verão, a circulação ciclônica em níveis elevados, sobre o sudeste da América do Sul, contribui para a convecção na ZCAS, fazendo parte do padrão do trem de ondas PSA. Por outro lado, no inverno, este padrão pode gerar condições favoráveis para o deslocamento e desenvolvimento de sistemas sinóticos, tais como sistemas frontais na América do Sul. Este trem de ondas do tipo PSA no inverno também pode ser associada a surtos de frio sobre a América do Sul.

Na banda intrassazonal, os modos de PSA são modulados por convecção tropical em ambas as estações, verão e inverno. A fase positiva do modo PSA é associada com um aumento de convecção tropical sobre o oeste e Pacífico central e convecção suprimida no Oceano Índico. O modo PSA está também ligado à associação de convecção com a OMJ. Este modo representa uma onda zonal com número de onda 3 e um trem de ondas bem definidas a partir do Pacífico Tropical e do Oceano Índico para a América do Sul, com grandes amplitudes. Durante a estação das monções, os modos PSA apresentam impacto sobre as precipitações de monção.

c) Mecanismos de formação

A formação do modo PSA está associada à convecção tropical, que é considerado o catalisador para o seu desenvolvimento. Este trem de onda de Rossby tipo PSA é originado a partir da convecção na Indonésia. Segundo Cunningham (2002), a PSA é a configuração resultante da forçante divergente na região da Indonésia, por ocasião da convecção anômala gerada pelo ciclo da OMJ, associada ao comportamento do Jato Subtropical (JST) próximo à Austrália, e ainda às anomalias na região extratropical. Para se observar o modo PSA bem configurado, o JST deve estar mais intenso, tendo uma maior contribuição de anomalias do escoamento da região extratropical.

2.2 Variabilidade submensal

Na literatura, existem poucos estudos que enfocam as características meteorológicas associadas à escala submensal. Esta escala ocorre na escala de tempo de 10-30 dias. De acordo com Ferreira (2014), o padrão de inverno da escala submensal é caracterizado

por situações de bloqueios atmosféricos que impedem a propagação das frentes frias. Gonzalez et al. (2013) analisou a escala submensal (10-30 dias) e a escala intrassazonal (30-90 dias) e identificou um padrão de dipolo similar nessas duas escalas, mas com forçantes dinâmicas distintas. Os autores destacam que a forçante das anomalias na escala submensal não está relacionada a anomalias de convecção nos trópicos, nesse caso, as anomalias exibe, nos extratropicos, a estrutura de trens de onda de Rossby. Outros estudos identificaram sinais na escala submensal influenciando o sudeste da AS e a região de atuação da ZCAS, como Liebmann et al. (1999), Nogués-Paegle et al. (2000), Schneider (2004).

Num contexto global, estudos como Serra et al. (2014), exploraram os impactos da escala submensal no globo, e destacaram os padrões dominantes desta escala de 10-30 dias. Por exemplo, no Oceano Índico e Pacífico, durante o verão boreal, a escala de variabilidade submensal modula as monções indianas e asiáticas (CHEN T-C; CHEN J-M., 1993) e as atividades de ciclone tropical no Pacífico Ocidental (HARTMANN; MICHELSEN; KLEIN, 1992). Segundo Jiang e Waliser (2009), o padrão predominante no oceano Pacífico Leste está associado à propagação da atividade convectiva para leste, e ao entrar no Pacífico leste propaga-se para norte. Este padrão de propagação da precipitação é visível no Caribe, Golfo do México e anomalias de precipitação no Atlântico Ocidental.

No continente africano, o padrão dominante é conhecido como QBZD (dipolo zonal quase quinzenal). Este padrão é estacionário, está na região da ZCIT, porém com centros opostos a atividade da ZCIT ao longo da costa Guiné e ao largo da costa da América do Sul, perto de 40°W (MOUNIER, F. et al., 2008). Mounier e colaboradores (2008) propuseram um mecanismo, onde as anomalias de baixa pressão associadas com forte aquecimento na superfície induz transporte de umidade para o Atlântico Oriental durante o período de convecção suprimida sobre a África Ocidental. Em alguns casos, as ondas de Kelvin equatorial aumentam ainda mais este transporte de umidade, favorecendo a convecção na região, o que dá início ao ciclo do QBZD (MOUNIER, F. et al., 2008). Existem evidências que a atividade QBZD é reforçada no início da temporada das monções africanas quando a ZCIT é mais próxima do equador, porém

estas relações entre QBZD, Ondas de Kelvin (OK) e o início da monção africana precisam ser exploradas. Segundo Sultan et al. (2003), há um segundo padrão dominante observado sobre a África Central e Ocidental e se propaga para oeste, chamado como modo “Sahel”. Este padrão é observado sobre África Central, propaga-se para o norte para as latitudes do Sahel e, posteriormente, para o oeste no Atlântico Oriental.

De acordo com Maloney e Shaman (2008), no Oceano Atlântico, as atividades de ciclone tropical são moduladas por um período de 10-30 e 30-90 dias e está correlacionada com a convecção da monção africana quando as condições médias da região de desenvolvimento são favoráveis a ciclogênese. No entanto, Moncrieff e colaboradores (2012), observaram que quando as condições são menos favoráveis à ciclogênese, as ondas africanas de leste (AEW) desempenham um papel mais importante na modulação da atividade de TC no Atlântico. Em adição, há interação das ondas de Kelvin e AEW que favorecem a ciclogênese. A atividade de ondas de Kelvin (6-7 dias) em direção à África parece iniciar sobre o Pacífico Leste e na Amazônia e é constituído por pacotes de onda, em vez de trem de ondas.

Na América do Sul, existem poucos estudos que exploraram as características meteorológicas associadas à escala submensal. Segundo Mo et al. (2012), a escala submensal parece modular a monção sul-americana, mesmo que os modos não expliquem uma grande porcentagem da variabilidade total, o modo submensal é mais forte do que a OMJ para determinados anos e têm uma grande influência na precipitação sobre as Américas. Gonzalez e Vera (2013) analisaram o padrão de dipolo meridional de convecção observada entre a ZCAS e a região Sul da América do Sul, explorando as escalas temporais de 10-30 e 30-90 dias. Os resultados mostraram que para cada banda de variabilidade temporal há influência de diferentes forçantes dinâmicas de grande escala. A banda de 30-90 dias está associada à OMJ e a um padrão de trens de onda de Rossby. Por outro lado, na banda de 10-30 dias, os autores constataram que a atividade do dipolo meridional não parece estar associada à OMJ. Nas regiões subtropicais, a banda submensal apresentou estruturas semelhantes dos trens de ondas, porém as fontes não são totalmente esclarecidas.

2.3 Variabilidade sinótica

A variabilidade sinótica é caracterizada por uma variação em escala de tempo de 2 a 8 dias. Nesta escala, há a influência de fenômenos meteorológicos como, por exemplo, os sistemas frontais que ocorrem na região Sul e Sudeste do Brasil. Segundo Cavalcanti (2009), as frentes frias afetam o tempo sobre a América do Sul durante todo o ano e são mais frequentes de junho a setembro. Os sistemas frontais são os principais fenômenos responsáveis pelas mudanças de tempo, principalmente em se tratando de latitudes médias, onde ocorrem com maior frequência.

De acordo com Holton (2004), processos dinâmicos transitórios que produzem zonas, referidas como frentes, com fortes ventos e grandes gradientes de temperatura dentro de redemoinhos baroclínicos individuais. O processo de formação ou intensificação das frentes é chamado de frontogênese, a qual ocorre em regiões de grande contraste térmico. Por outro lado, o processo de destruição ou enfraquecimento de uma frente é denominado de frontólise.

Em estudos de climatologia, Andrade (2005) mostrou uma climatologia do período de 1980-2002 dos sistemas frontais que afetaram o Brasil. Os resultados encontrados foram que se observou uma diminuição de sistemas frontais em direção a latitudes mais baixas, menor frequência no verão e maior frequência no inverno do avanço de frentes frias pelo interior do Brasil. Notaram-se características importantes quanto ao comportamento: em superfície notou-se que a intensidade e o posicionamento dos sistemas de alta e baixa pressão são características importantes no deslocamento dos sistemas; a posição do jato em altos níveis favoreceu o deslocamento das frentes, e pressões ligeiramente mais altas sobre o centro-sul do Brasil acompanhada de forte subsidência impediram o avanço dos sistemas frontais. Além dos sistemas frontais, na escala sinótica há a ocorrência dos sistemas de baixa e alta pressão. Os fenômenos dentro da escala sinótica apresentam dimensões espaciais da ordem de 2000 Km.

Além dos sistemas frontais, também, observa-se a atuação de vórtices ciclônicos que atuam no Pacífico e na costa oeste da AS. De acordo com Satyamurty, Ferreira e Gan (1990) a partir de imagens de satélite observaram que os vórtices que cruzam os Andes

com vorticidade maior do que 2×10^{-5} s apresentam 40% de chance para a ocorrência de chuvas na proximidade da costa leste do continente e, se o valor da vorticidade aumentar para 5×10^{-5} s as chances aumentam para 50%. Também, os autores estimaram uma velocidade média do deslocamento destes sistemas com o valor de 12,5m/s na direção sudeste e sua maior ocorrência é durante o verão.

Sistemas sinóticos como frontogênese e ciclogênese no sul e sudeste do Brasil ocorrem com maior frequência sobre o oceano durante o verão e sobre o continente no inverno (TALJAARD, 1972). As regiões ciclogênicas no Brasil se localizam na costa do Uruguai e extremo sul do Brasil e costa sul/sudeste do Brasil (HOSKINS; HODGES, 2005; REBOITA, 2008) e estão associadas tanto com a divergência a leste dos cavados transientes em níveis médios, como a instabilidade frontal. Além disso, os bloqueios atmosféricos (MARQUES; RAO, 1999 e 2000) ocorrem com maior frequência no outono, enquanto no inverno e primavera são menos frequentes.

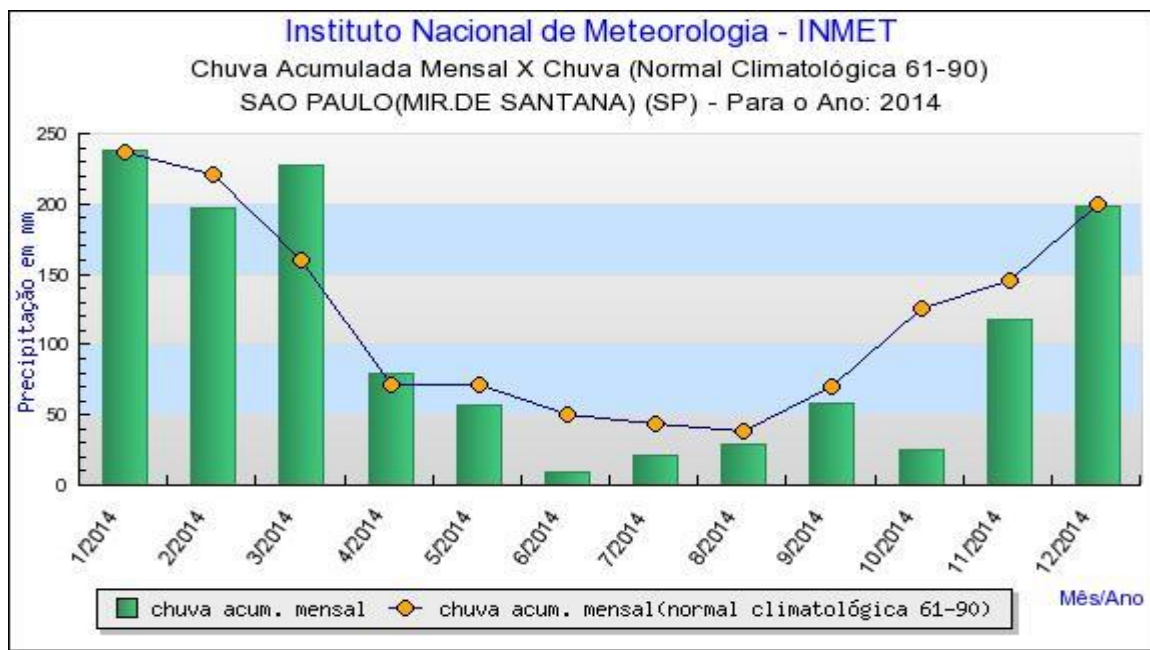
2.4 Eventos de precipitação intensa na América do Sul

Os eventos de precipitação intensa estão associados à ocorrência de sistemas meteorológicos de escala sinótica, meso e grande escala. Estes eventos de precipitação intensa apresentam grandes impactos socioeconômicos, afetando vários setores da economia, como agricultura, energia, entre outros setores que causam grandes transtornos à população.

Na região Sudeste do Brasil, o regime pluvial é caracterizado por apresentar invernos secos e verões chuvosos, conforme observado na Figura 2.5 que mostra a precipitação acumulada mensal para o ano de 2014. Os principais sistemas meteorológicos de grande escala que produzem precipitações sobre a região Sudeste são os Sistemas Frontais (ANDRADE, 2005; REBOITA et al., 2010) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (QUADRO, 1994; SANCHES, 2002; CARVALHO et al., 2004). Na mesoescala, os sistemas atuantes são Linhas de Instabilidade pré-frontais, Brisas

Marítimas (REBOITA et al., 2010) e ciclones de mesoescala (QUADRO, 1994; REBOITA et al., 2010).

Figura 2.5 - Precipitação acumulada mensal do estado de São Paulo para o ano de 2014.



Fonte: INMET (2015).

Neste estudo, há um enfoque maior para o principal mecanismo responsável pela precipitação na estação chuvosa da região Sudeste, a ZCAS que é definida como uma banda de nebulosidade com orientação noroeste-sudeste que se estende desde a Amazônia até o sudeste do Brasil, e frequentemente sobre o oceano Atlântico Subtropical (CARVALHO et al., 2004; QUADRO, 1994). De acordo com Sanches (2002), a persistência de alguns dias desta banda de nebulosidade faz com que a ZCAS exerça um papel preponderante no regime de precipitações na região atuante, acarretando em altos índices pluviométricos. Estudos de eventos extremos de precipitação são de extrema importância, por possuírem um grande impacto socioeconômico.

De acordo com Carvalho et al. (2009), uma das características marcantes da ZCAS é a sua rica variabilidade em diferentes escalas de tempo. Em escala sinótica, nota-se que

incurções de frentes frias sobre a Argentina e o sul do Brasil, até latitudes mais baixas são acompanhada de um reforço da atividade convectiva no oeste-sudoeste da Amazônia, estendendo-se sobre a ZCAS. Em escalas de tempo subsazonais, a ZCAS mostra regimes de variabilidade distinta. Na banda aproximada de 30-60 dias, grande parte desta variabilidade é associada a propagações para leste da oscilação de Madden-Julian (OMJ), que é o modo mais importante da variabilidade tropical intrassazonal. As atividades convectivas com períodos mais curtos (2-30 dias) são associadas a propagações de ondas de Rossby provenientes de latitudes médias do Hemisfério Sul e que atingem a região da ZCAS. Vários estudos mostraram que a origem destes “trens de onda” está fortemente associada à propagação para leste da OMJ e à intensificação da atividade convectiva da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS). Estudos mostraram a conexão entre a ZCAS e a ZCPS, realizando simulações variando o aquecimento devido à liberação de calor latente. Retirando-se o aquecimento do Pacífico Sul, causado pela ZCPS, notou-se um enfraquecimento da ZCAS e um deslocamento da mesma para leste provocado, provavelmente pela mudança na circulação de Walker (KALNAY, 1986).

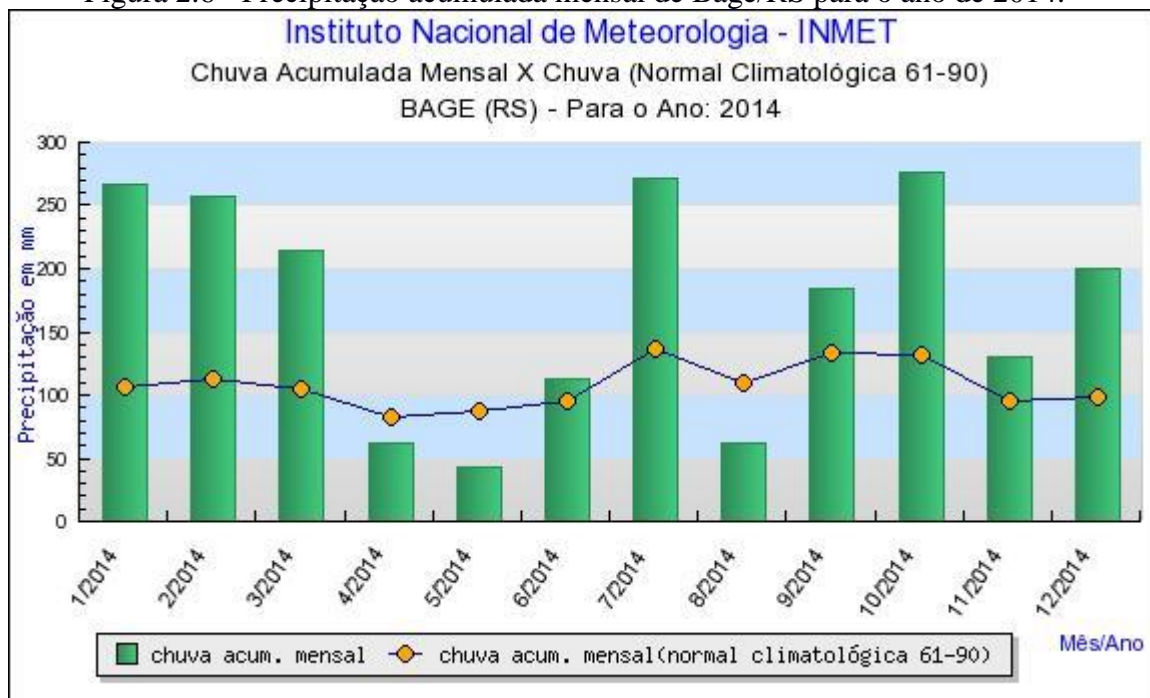
A importância da variabilidade tropical intrassazonal recebeu especial atenção durante o experimento Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) / Grande Escala da Biosfera-Atmosfera (LBA) (23 janeiro - 28 fevereiro de 1999), onde os regimes de oeste (leste) estavam associados à mudança nas características da convecção. Em estudos de Jones e Carvalho (2002) foram usados os regimes de oeste (W) e leste (E). Os regimes de W mostram ventos de baixos níveis cruzando o Equador em direção ao sul e fechando em circulação ciclônica sobre a costa da Argentina. Regiões extensas de convecção e precipitação sobre o Altiplano da Bolívia e o norte da América do Sul foram observadas nesses padrões, caracterizando a presença da ZCAS. Em contraste, nos regimes de E, padrões opostos foram observados na circulação, convecção e precipitação, caracterizando situações de ausência ou enfraquecimento da ZCAS (NZCAS).

Sistemas como linhas de instabilidade pré-frontais, CCMs, bloqueios atmosféricos e brisas também atuam na região Sudeste. No município de São Paulo a brisa marítima

contribui para instabilizar o ar e, muitas vezes, propicia chuviscos. Porém, quando interage com outros sistemas atmosféricos pode favorecer eventos com precipitações intensas. Segundo Pereira Filho et al. (2002), 60% dos casos de enchentes ocorridos na região Metropolitana de São Paulo entre março de 1999 e março de 2002 estavam associados à penetração de brisa marítima no período da tarde e temperatura do ar superior a 30°C. Em termos de ocorrência de tempestades, Morales et al. (2009) discutiram que o escoamento de noroeste pré-frontal retarda a penetração da brisa marítima na cidade, porém a convergência destes dois escoamentos favorece a ocorrência de tempestades elétricas de verão na cidade de São Paulo no período da tarde.

Na região Sul do Brasil, o regime pluvial apresenta um padrão de precipitações regulares durante todo o ano, com picos maiores nos meses de janeiro a março, julho e outubro, conforme observado na Figura 2.6 que mostra a precipitação acumulada mensal de Bagé/RS para o ano de 2014.

Figura 2.6 - Precipitação acumulada mensal de Bagé/RS para o ano de 2014.



Fonte: INMET (2015).

Os fenômenos meteorológicos responsáveis pela ocorrência dos eventos de precipitação são influenciados por diversas escalas espaciais e temporais. Segundo Sleiman e Silva (2010), a intensidade e a frequência dos sistemas de tempo estão associadas às variações de escala climática, relacionadas à variabilidade dos oceanos Pacífico e Atlântico (CARDOSO; SILVA DIAS, 2000; CARDOSO, 2005; GRIMM; TEDESCHI, 2004). Na escala sinótica, os ciclones extratropicais e regiões com altas pressões persistentes em altitude na atmosfera, as quais bloqueiam o deslocamento normal de sistemas frontais, ocorrem na Região Sul do Brasil e influenciam as condições locais de tempo (LEMOS; CALBETE, 1996). Em mesoescala, os sistemas convectivos de mesoescala (SILVA DIAS, 1996), complexos convectivos de mesoescala (VELASCO; FRITSCH, 1987) e linhas de instabilidade (SILVA DIAS, 1987) afetam o tempo na escala que varia de horas a poucos dias. A variabilidade de intensidade e frequência de todos estes sistemas contribui para situações de seca e precipitação abundante (MARQUES; RAO, 1996). Em grande escala, o modo PSA pode afetar durante o inverno, onde este padrão de ondas pode gerar condições favoráveis para o deslocamento e desenvolvimento dos sistemas sinóticos, tais como os sistemas frontais. Também, o modo PSA pode estar associado a surtos de frio sobre a região Sul da América do Sul.

De acordo com Reboita et al., (2010), a costa sudeste da Argentina foi identificada com uma região frontogenética por Satyamurty e Mattos (1989) e ciclogênica por Gan e Rao (1991). Nesta região, os gradientes meridionais de temperatura são relativamente intensos, propiciando a formação de sistemas frontais. Além disso, muitas vezes ao longo do ano, a região Sul é atingida por intensas massas de ar frio que se deslocam do pólo sul para latitudes mais baixas, o que também contribui para a formação de frentes frias. No setor centro-sul da região Sul da AS, os complexos convectivos de mesoescala (VELASCO; FRITSCH, 1987), também contribuem para as elevadas taxas de precipitação na primavera e verão.

Os CCM são conjuntos de cumulonimbus acompanhados por densa camada de cirrus, que podem ser facilmente identificados em imagens de satélites como sendo sistemas de nuvens com aparência aproximadamente circular e com um crescimento explosivo num intervalo de tempo de 6 a 12 horas (SILVA DIAS, 1987). Reboita et al. (2010),

constatou que o elemento principal para a formação dos CCM nos extratropicais da AS é a presença de um jato em baixos níveis (JBN) de norte, com máxima velocidade em torno de 850 hPa, o qual proporciona forte advecção de ar quente e úmido. Além disso, há a presença de um jato de oeste em altos níveis, localizado por volta de 5° ao sul da posição do CCM (SILVA DIAS, 1996). Este jato é importante, pois tem uma circulação transversal na sua entrada, cuja componente ageostrofica favorece divergência de massa em altos níveis e convergência em baixos níveis, e esta convergência acoplada com a do JBN contribui para a intensificação da convergência de umidade na região do CCM. Na AS, o JBN no desenvolvimento de CCMs nos extratropicais é o que se localiza a leste dos Andes, e transporta ar quente e úmido da região amazônica para o sudeste da AS (MARENGO et al., 2004; VERA et al., 2006).

Além da atuação destes fenômenos supracitados, há também a atuação de sistemas de circulação locais (brisas) e a influência indireta da ZCAS (CARVALHO et al., 2004; FERRAZ, 2004; KODAMA, 1992; NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997; QUADRO, 1994), uma vez que este sistema apesar de atuar climatologicamente sobre o sudeste do Brasil pode gerar movimentos subsidentes intensos no sul (CASARIN; KOUSKY, 1986).

2.5 Energética

O estudo da energética da atmosfera é importante para analisar a geração, conversão e dissipação da energia no entendimento da formação, desenvolvimento e manutenção de diversos sistemas atmosféricos (KUNG; CHAN, 1981).

A aprendizagem sobre energética envolve o conhecimento, tanto teórico, como observacional da geração, conversão e dissipação das diferentes formas de energia (WIIN-NIELSEN; CHEN, 1993). Os primeiros estudos sobre energética foram realizados por Margules (1903), o qual considerou um sistema fechado em que a energia total permanecia constante, mostrando como o rearranjo de massas de ar de diferentes densidades de uma situação instável para uma situação estável, produz uma quantidade de energia cinética comparada com aquela observada nas tempestades de latitudes médias. Assim, a teoria proposta por Margules considerou que o crescimento da energia cinética em tempestades poderia ser devido ao decréscimo da energia potencial

resultante desse rearranjo, opondo-se a teoria da condensação na qual se acreditava que a energia dos ciclones vinha da energia do calor latente liberada na condensação (TAMURA, 1905).

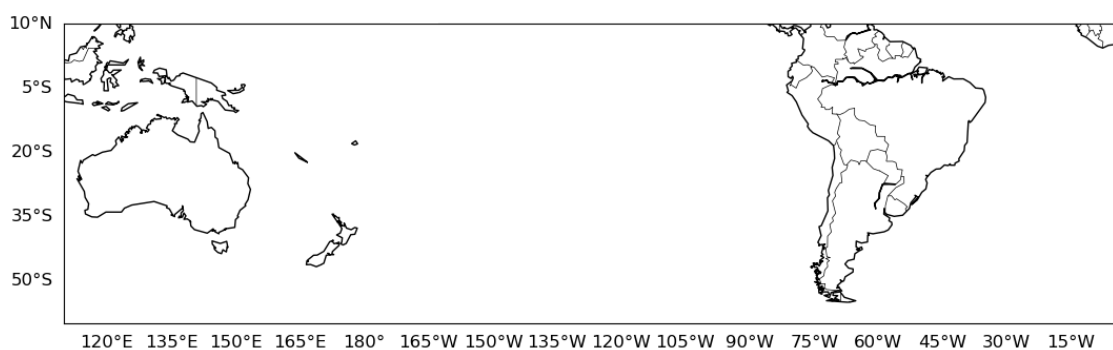
Os princípios teóricos da energética devem-se a Lorenz (1955), que seguindo as ideias de Margules estabeleceu o conceito de energia potencial disponível e derivou um conjunto de equações que demonstram o ciclo de energia na atmosfera. De acordo com Lorenz, a energia potencial total da coluna não era uma medida representativa da quantidade de energia disponível para a conversão em energia cinética. Assim, definiu-se a energia potencial disponível como a diferença entre a energia potencial total e a energia potencial mínima, a qual resultaria de qualquer redistribuição adiabática de massa (LORENZ, 1955).

3 DADOS E METODOLOGIA

Neste capítulo, apresenta-se a seguir uma descrição dos dados e da metodologia a fim de atingir os objetivos propostos.

A região de estudo compreende as áreas de 110°E-360° e 10°S-60°S para análise das influências das escalas sinótica, submensal e intrassazonal, conforme Figura 3.1. Estas regiões foram selecionadas por representarem importantes regiões com ocorrência dos eventos de precipitação, devido atuação dos sistemas meteorológicos, supracitados na revisão bibliográfica.

Figura 3.1 - Localização das áreas de estudo da América do Sul e oceanos adjacentes.



Fonte: Produção do autor.

3.1 Dados

- Dados diários de Radiação de Onda Longa emergente (ROL) de 01 de dezembro de 1979 a 28 de fevereiro de 2016 são utilizados como proxies de convecção para as principais regiões dentro de 110°E-0°W e 10°N-60°S. Este conjunto de dados interpolado é disponibilizado pela National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) com uma resolução de 2.5° de latitude x 2.5° de longitude (LIEBMANN; SMITH, 1996). As regiões de convecção foram selecionadas de acordo com os campos espaciais de potência espectrais (variância) mais significativas de ROL total e filtrada nas escalas de variabilidade sinótica, submensal e intrassazonal obtidas por meio da transformada de ondaletas. A variável ROL foi escolhida, porque permite inferir o comportamento da convecção sobre a América do Sul, também usada em

outros estudos Liebmann et al. (1999), Carvalho et al. (2004), Cunningham e Cavalcanti (2006) e outros.

- Dados diários do vento meridional (v300) e zonal em 300 hPa e vento meridional e zonal em 850 hPa de 01 de dezembro de 2006 a 28 de fevereiro de 2016. Este conjunto de dados é interpolado e disponibilizado pela *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) (SAHA et al., 2010, 2014) com uma resolução de 2.5° de latitude x 2.5° de longitude.
- Para analisar os modos de variabilidade submensal e intrassazonal a partir do método do POP foram utilizados dados diários de v300 de 01 de dezembro de 2006 a 28 de fevereiro de 2016 para análise do POP. Este conjunto de dados é interpolado e disponibilizado pela *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) (SAHA et al., 2010, 2014) com uma resolução de 2.5° de latitude x 2.5° de longitude. O período analisado focou a década recente de 2006 a 2016. Outras décadas não foram analisadas uma vez que o foco do trabalho não incluía variabilidade interanual e decadal
- Analisa-se a energia cinética para a região de estudo 110°E-0°W e 10°N-60°S durante o período de 01 de janeiro de 1979 a 28 de fevereiro de 2016. São utilizados os dados diários do vento meridional, zonal e vertical, altura geopotencial, temperatura nos níveis de pressão 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200 e 150 hPa. Este conjunto de dados é interpolado e disponibilizado pela *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) (SAHA et al., 2010, 2014) com uma resolução de 2.5° de latitude x 2.5° de longitude.

3.2 Metodologia

3.2.1 Transformada de Ondaletas

A Transformada de Ondaletas (TO) (GU, PHILANDER, 1995; TORRENCE, COMPO, 1998; WENG; LAU, 1994) visa detectar, analisar e caracterizar as escalas de tempo que afetam os sistemas atmosféricos sobre a América do Sul e oceanos adjacentes. A TO analisa as variações locais de energia dentro de uma série temporal, pela decomposição da mesma em tempo, frequência e espaço. Esta técnica é capaz de determinar os modos dominantes de variabilidade e como estes modos podem variar no tempo. A TO tem sido utilizada em vários estudos de geofísica, como convecção tropical (WENG; LAU, 1994), ENOS (GU; PHILANDER, 1995), oscilações intrasazonais na América do Sul (VITORINO, 2002). A descrição completa das aplicações desta técnica pode ser encontrada em Foufoula-Georgio; Kumar (1995), enquanto a parte teórica das análises de ondaletas é dada em Daubechies (1992). Uma vantagem desta técnica, em relação à técnica “Janelada de Fourier” (GABOR, 1946), é que com o uso da TO, que possui janelas móveis no tempo consegue-se capturar sinais de baixa frequência quando se dilatam e os sinais de alta frequência ao se comprimirem. Enquanto, a técnica Transformada de Fourier Janelada (TFJ) é limitada neste aspecto, por possuir uma janela fixa, ou seja, não consegue determinar as variações de altas e baixas frequências.

Os primeiros estudos da TO foram de Morlet (1982) que desenvolveu uma função matemática base ψ (psi), que possuísse energia finita, ou seja, um início e um fim, e que essa função fosse totalmente capaz de dilatar ou comprimir, eliminando o problema da janela temporal da TFJ ser fixa.

O termo ondaleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas geradas por dilatações (a) e translações (b) de uma função simples $\psi(t)$ de variável t , algumas vezes chamada de ondaletas-mãe. As funções que são derivadas da ondaletas-mãe (Equação 3.1) são denominadas como ondaletas-filhas, ou simplesmente, ondaletas (WENG; LAU, 1994). Esta função deve apresentar energia finita. Reunindo as propriedades de translação e escalamento (Equações 3.2) em um único protótipo de uma

função ondaletas geradora $\psi_j, k(t)$, obtêm-se as chamadas funções ondaletas filhas, pela mudança de j e k . Dessa forma, o termo ondaletas refere-se basicamente a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas geradas por translações $\psi(t) \rightarrow \psi(t+1)$ e escalamentos $\psi(t) \rightarrow \psi(2t)$ e de uma Função Ondaletas base simples (FO) (t) , Ψ_o a chamada ondaleta-mãe. Sendo assim, a Equação (3.1) mostra a função ondaletas geradora em função de Ψ_o .

$$\Psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{j}} \Psi_o \left(\frac{t-k}{j} \right); j \neq 0 \quad (3.1)$$

Onde j é denominado fator de escalamento e “ k ” é o fator de translação. As ondaletas filhas são geradas da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} \psi_k(t) &= \psi_o(t-k) \rightarrow \text{Translação} \\ \psi_j(t) &= \frac{1}{\sqrt{j}} \psi_o \left(\frac{t}{j} \right) \rightarrow \text{Escalamento}; j \neq 0 \end{aligned} \quad (3.2)$$

As Equações (3.2) mostram as ondaletas filhas geradas pela translação e pela mudança de escala, respectivamente. O fator j é chamado de constante de normalização da energia de cada ondaletas filha de forma a manter a mesma energia da ondaletas principal, ou seja, a soma das energias de todas as ondaletas filhas, oriundas das Equações (3.2), resulta na energia total da transformada.

A TO, como demonstrado anteriormente, envolve uma operação “linear” que pode ser utilizada na análise de sinais não estacionários para extrair informações das variações em frequência dos mesmos e para detectar estruturas localizadas no tempo ou espaço. Para que uma função seja denominada de função ondaletas base (FO), representada por ψ_0 , ela deve satisfazer a duas propriedades distintas, descritas a seguir.

1ª propriedade) A integral desta função deve ser zero:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi_o(t) dt = 0 \quad (3.3)$$

Esta equação assegura que a TO assuma uma forma do tipo onda, esta condição é conhecida como condição de “admissibilidade”. Ou seja, garante a “transformada inversa da TO”.

2ª propriedade) A função TO deve possuir energia unitária, isto é:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |\psi_o(t)|^2 dt = 1 \quad (3.4)$$

Esta equação acima assegura que a TO possua suporte compacto, ou seja, um decaimento rápido de amplitude, da literatura inglesa (e-folding time), o que garante que a ondaletas-mãe possua uma localização espacial.

A transformada em ondaletas contínua da função $f(t)$ é definida pela seguinte equação (3.5):

$$W_\psi f(j, k) = \frac{1}{\sqrt{j}} \int f(t) \psi\left(\frac{t-k}{j}\right) dt \quad (3.5)$$

Onde $f(t)$ é a função que constitui a série de dados a ser analisada. O termo $\frac{1}{\sqrt{j}}$ é utilizado para normalizar a energia de cada ondaletas.

A escolha da ondaletas mais conveniente para cada tipo de ondaletas-mãe possui uma melhor ou pior localização nos domínios da frequência e/ou do tempo; desta maneira é necessário escolher uma ondaletas de acordo com o sinal estudado e os objetivos almejados. Neste estudo será aplicada a ondaletas base de “Morlet”, a qual possui uma ótima representação de sinais não estacionários obtidos na natureza. Este método é descrito com maiores detalhes em Torrence e Compo (1998). Esta ondaletas é complexa

e possui características semelhantes àsquelas do sinal meteorológico que se deseja analisar, tais como simetria ou assimetria, e variação temporal brusca ou suave (VITORINO, 2002).

A função de Morlet é dada pela seguinte expressão:

$$\psi(t) = e^{iw_0 t} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (3.6)$$

Onde w_0 é a frequência adimensional e t é cada valor da série temporal. As ondaletas geradas utilizam $w_0 = 6$ (valor sugerido por TORRENCE; COMPO, 1988) e são calculadas da seguinte maneira:

$$\psi_{(j,k)} = \frac{1}{\sqrt{j}} e^{iw_0 \left(\frac{t-k}{j}\right)} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-k}{j}\right)^2} \quad (3.7)$$

Neste trabalho, a transformada de ondaletas foi aplicada ao conjunto dos dados diários de OLR e de vento meridional em 300 hPa, a fim de que sejam selecionadas as escalas sinótica, submensal e intrassazonal para a análise da potência espectral (variância) de OLR mais significativa e para o cálculo dos modos de variabilidade do vento meridional utilizando a série temporal filtrada da componente real da TO.

3.2.2 Padrão de Oscilação Principal (POP- em inglês Principal Oscillation Pattern)

O Padrão de Oscilação Principal (POP - em inglês Principal Oscillation Pattern) é considerado uma técnica estatística para identificar padrões oscilatórios e inferir características de espaço temporal de sistemas complexos (VON STORCH, 1988). Esses padrões oscilatórios correspondem aos modos normais de um sistema linear, onde o sistema de matriz é estimado a partir de um conjunto de dados observados. Além de mapear a evolução espaço/temporal ele também possibilita diagnosticar o período de oscilação do sistema atmosférico de interesse bem como o tempo de decaimento do mesmo utilizando somente um modo. Por meio dos coeficientes real e imaginário, associado com os padrões do POP, é possível avaliar a sua evolução cíclica e obter

informações das características da origem e propagação dos padrões de circulação atmosféricos (ROBALLO, 2012).

O POP é uma abordagem estatística para estimar os modos normais de um sistema com muitos graus de liberdade, complexa e a dinâmica possivelmente desconhecida (PAULLUHN, 1997). De acordo com Von Storch (1988), em muitas aplicações, os dados podem ser submetidos primeiro a uma expansão de Função Ortogonal Empírica (EOF) truncada para reduzir o número de graus espaciais de liberdade. A análise POP é então aplicada ao vetor dos primeiros coeficientes EOF. Muitas vezes, é melhor filtrar os dados na escala temporal antes da análise de POP se houver informações prévias de que o sinal esperado esteja localizado em uma determinada faixa de frequência.

Desta forma, o método empregado visa transformar os dados para o espaço EOF (HANNACHI ET AL., 2007; VON STORCH; ZWIERS, 2001; WILKS, 2011) que é simplesmente um conjunto de funções ortonormais que abrange completamente o espaço real. Os EOFs são definidos como os autovetores da matriz de covariância. Numa outra simplificação, a evolução no tempo do sistema é modelada por um processo linear do vetor. A correspondente (estimado) matriz função tem valores e vetores próprios reais e complexos gerais. Estes vetores próprios são chamados padrões de oscilação principal (POP). Os componentes principais da análise EOF podem ser expressas em termos desses POPs (independente de tempo) reais e complexas e as correspondentes amplitudes reais e complexos (dependentes do tempo). O processo é assim decomposto em vários modos de POP, cada um tendo um período de oscilação e tempo de decaimento. O padrão POP da componente real (representa a média zonal) associa-se as fases da oscilação, ou seja, analisam-se as regiões favoráveis ou desfavoráveis da onda, enquanto que o padrão espacial da componente imaginária (associa-se ao transiente) associa-se a propagação da onda.

O POP possui vantagens com relação às outras técnicas multivariadas, como as funções ortogonais empíricas complexas (CEOF) (STORCH, 1995). A CEOF é obtida pela aplicação da técnica convencional da EOF em uma série temporal complexa cuja parte real é a própria série temporal e a parte imaginária é a transformada de Hilbert para a

série temporal (STORCH, 1995). Abaixo será exposto um resumo das equações do método a ser estudado.

Nas análises do POP, um autovetor, fisicamente significativo de uma matriz, calculado por meio dos dados em consideração, constitui um POP complexo, cuja as componente real e imaginária descrevem o padrão de um modo particular de oscilação. Esse período de oscilação pode ser determinado através do correspondente autovalor. Os coeficientes das séries temporais formam um índice bivariado monitorando a oscilação durante todo o período considerado. Uma análise espectral dos coeficientes da série temporal pode ser aplicada para verificar o período de oscilação sugerido pelo autovalor. Seguindo as formulações originalmente propostas por Hasselmann (1988), os POPs de um determinado conjunto de dados podem ser obtidos a partir de um sistema de duas variáveis associadas às equações dinâmicas lineares:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= L_1(x_1, x_2) \\ \frac{dx_2}{dt} &= L_2(x_1, x_2)\end{aligned}\tag{3.8}$$

Onde L_1 e L_2 são funções lineares. Discretizando-se estas equações obtêm-se:

$$\begin{aligned}x_1(t+1) &= a_{11}x_1(t) + a_{12}x_2(t) \\ x_2(t+1) &= a_{21}x_1(t) + a_{22}x_2(t)\end{aligned}\tag{3.9}$$

Onde a_{ij} são parâmetros. No caso de um sistema de equação dinâmica linear de primeira ordem de variável m , as equações governantes podem ser expressas por:

$$x(t+1) = A_x(t)\tag{3.10}$$

Onde x é um elemento m do vetor coluna e A é uma matriz $m \times n$. Geralmente, A é uma matriz real, mas não simétrica. Dessa forma, seus autovalores e seus autovetores P são

geralmente complexos. Tomando o complexo conjugado da equação do autovetor, tem-se:

$$AX = \lambda X \quad (3.11)$$

Ou

$$Ap_i = \lambda_j p_j \quad (3.12)$$

Onde p são os autovetores de A e os quais não dependem do tempo. Por outro lado, os autovetores são ortogonais se os autovalores $\{\lambda_j\}$ são distintos. Existem m autovalores e se todos forem distintos, existe uma ortogonalidade. Para cada λ_j existe um único autovetor P_j o qual é ortogonal a outro autovetor p_j sempre que $i \neq j$.

Obtêm-se a equação característica, isolando x da equação acima $AX = \lambda X$:

$$(A - \lambda I)X = 0 \quad (3.13)$$

o qual é um sistema linear homogêneo em x . Este sistema linear terá soluções diferentes de zero se e somente se $\det(A - \lambda I) = 0$. Os valores de λ que satisfazem esta equação são denominados autovalores da matriz A . Uma vez determinado os autovalores, podem-se obter os autovetores associados.

Considerando a definição de autovalores e sendo P uma matriz $n \times n$ cujas colunas são os n autovetores de A , tem-se:

$$P = [p_1, p_2, \dots, p_n] \quad (3.14)$$

Define-se que $AP = P\Lambda$, onde Λ é a matriz diagonal, ou seja:

$$\text{MATRIZ } \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \lambda_m \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Como os autovetores são linearmente dependentes uma vez que os autovalores são distintos, a matriz diagonal pode ser representada por $P^{-1}AP = \Lambda$, sendo $P^{-1}P = I$ (matriz identidade).

Para estimar os coeficientes dos POPs, define-se que:

$$x(t) = \sum_{j=1}^m p_j z_j(t) \quad (3.16)$$

Em que a evolução do sistema descrito pela variável x está contida nos coeficientes de expansão $z_j(t)$. Nesta equação, p_j é o autovetor complexo e denominado como POP e z_j é o coeficiente do POP.

Desta forma,

O autovetor $p_j = p_j^r + ip_j^i$ é denominado POP de $x(t)$. Assim, o correspondente coeficiente POP pode ser expresso por:

$$z_j(t) = z_j^r(t) + iz_j^i(t) \quad (3.17)$$

Ou seja,

$$z_j(t+1) = \lambda_j z_{j(t)} \quad (3.18)$$

Onde,

$$\lambda_j = [\lambda_j] \quad e^{i\theta_j} = e^{\frac{-1}{\tau_j}} e^{\frac{i2\pi}{T_j}} \quad (3.19)$$

Onde

$$[\lambda_j] < 1 \quad (3.20)$$

$$z_j(t+1) = e^{\frac{-1}{\tau_j}} e^{\frac{i2\pi}{T_j}} Z_j \quad (3.21)$$

Onde, $\tau = -1/\ln(\lambda)$ é o tempo de decaimento (e-folding time) que corresponde ao período necessário para reduzir a amplitude inicial $z(0) = 1$ a $z(\tau) = 1/e$. Por outro lado, T_j é o período oscilatório. Dessa forma, z_j evoluirá no tempo apresentando um decaimento exponencial e um comportamento oscilatório, governado pelos parâmetros τ_j e T_j , respectivamente. Maiores detalhes da descrição do método e equações em Von Storch (1988).

A evolução dos padrões espaciais das componentes real e imaginária do POP pode ser analisada simultaneamente, o que permite que as propagações sejam acompanhadas através de um ciclo por meio uma sequência cíclica infinita $-Pi \rightarrow -Pr \rightarrow Pi \rightarrow Pr$ (VON STORCH; ZWIERS, 2001), onde $-Pi$ é a parte negativa da componente imaginária, $-Pr$ é a parte negativa da componente real, Pi é a parte positiva da componente imaginária e Pr é a parte positiva da componente real.

Para analisar os modos dominantes da variabilidade da atividade convectiva, foram feitas análises do ciclo do POP em 8 fases (ANNAMALAI; SLINGO, 2001), calculadas a partir das equações 3.22 a 3.29, mostradas a seguir:

$$C_1 = R \quad (3.22)$$

$$C_2 = \frac{R}{\sqrt{2}} + \frac{I}{\sqrt{2}} \quad (3.23)$$

$$C_3 = I \quad (3.24)$$

$$C_4 = -\left(\frac{R}{\sqrt{2}}\right) + \left(\frac{I}{\sqrt{2}}\right) \quad (3.25)$$

$$C_5 = -R \quad (3.26)$$

$$C_6 = -\left(\frac{R}{\sqrt{2}}\right) - \left(\frac{I}{\sqrt{2}}\right) \quad (3.27)$$

$$C_7 = -I \quad (3.28)$$

$$C_8 = \left(\frac{R}{\sqrt{2}}\right) - \left(\frac{I}{\sqrt{2}}\right) \quad (3.29)$$

Onde R representa a componente real e I a componente imaginária do POP.

A partir da saída da análise do POP obteve-se a série temporal das componentes real e imaginária, e depois, calculou-se a amplitude $A^2(r) = [p^r(r)^2 + p^i(r)^2]$ da série temporal de POP. Esta série temporal da amplitude foi utilizada para serem selecionados os casos mais significativos das escalas submensal e intrassazonal a partir do percentil de 90%. Assim, obtiveram-se as composições e as anomalias das variáveis OLR, vento em altos níveis (300 hPa) e baixos níveis (850 hPa). A técnica das composições foi aplicada para destacar os padrões dominantes da circulação atmosférica associados aos eventos meteorológicos que atuam na AS.

3.2.3 Análises do Balanço de Energia Cinética (BEC)

A metodologia utilizada para o cálculo do balanço de energia cinética com o objetivo de analisar a interação das escalas sinótica, submensal e intrassazonal nas regiões da América do Sul foi a mesma utilizado por Jiang et al. (2013).

A equação da Energia Cinética dos eddies (ECE) foi derivada a partir da equação do movimento seguindo a formulação apresentada por Deng e Jiang (2011) e Jiang (2013):

$$\frac{\partial \vec{V}_T}{\partial t} = -\vec{V}_{3M} \cdot \nabla_3 \vec{V}_T - \vec{V}_{3T} \cdot \nabla_3 \vec{V}_M - \vec{V}_{3T} \cdot \nabla_3 \vec{V}_T - \overline{\vec{V}_{3T} \cdot \nabla_3 \vec{V}_T} - \nabla \phi_T - f\vec{k} \times \vec{V}_T + \vec{F}_{rT} \quad (3.30)$$

Na equação acima os termos \vec{V} e \vec{V}_3 representam os vetores do vento horizontal tridimensional, respectivamente. O termo ϕ é o geopotencial, f é o parâmetro de Coriolis, e F_r a força de fricção. Os subscritos T e M representam as componentes eddie transiente e média temporal do escoamento, respectivamente. A barra do 4º termo do lado direito representa a média temporal. A componente eddie transiente obtida como desvio da média sazonal no cálculo e, adicionalmente dividida em 3 bandas de frequência: escala sinótica (2-8 dias), escala submensal (10-30 dias) e escala intrassazonal (30-60 dias).

A partir da Equação 3.30 calcularam-se os harmônicos nos dados de entrada, e obteve-se a equação do movimento para os eddies de escala sinótica, como segue na equação:

$$\frac{\partial \vec{V}_H}{\partial t} = -\vec{V}_{3M} \cdot \nabla_3 \vec{V}_H - \vec{V}_{3H} \cdot \nabla_3 \vec{V}_M - \overline{\vec{V}_{3H} \cdot \nabla_3 \vec{V}_H} - \nabla \phi_H - f\vec{k} \times \vec{V}_H + \vec{F}_{rH} \quad (3.31)$$

A barra com índice H representa a média temporal da escala sinótica.

Para explicitar melhor a Equação 3.31 segue abaixo descrito o primeiro termo do lado direito (Equação 3.32):

$$\begin{aligned}
-\vec{V}_{3M} \cdot \nabla_3 \vec{V}_H &= -(u, v, w) \times (\nabla_u, \nabla_v, \nabla_w) \\
&= -\left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}, u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\
\frac{\partial u}{\partial t} &= u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{Du}{Dt} \\
\frac{\partial v}{\partial t} &= u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{Dv}{Dt}
\end{aligned} \tag{3.32}$$

Além disso, o quarto termo do lado direito (Equação 3.33) foi expandido da seguinte forma:

$$-\nabla \phi_H = \left(\frac{\partial \phi}{\partial x}, \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \tag{3.33}$$

Utilizou-se também as equações da continuidade, termodinâmica e hidrostática descritas como:

$$\nabla_p \cdot V + \frac{\partial \omega}{\partial p} = 0 \tag{3.34}$$

$$\frac{d\theta}{dt} + \omega \frac{\partial \theta}{\partial p} = \frac{Q\theta}{TC_p} \tag{3.35}$$

$$-\alpha = -\frac{RT}{p} \rightarrow \frac{\partial \phi}{\partial p} = -\alpha = -\frac{RT}{p} \tag{3.36}$$

Utilizando-se as equações em coordenadas de pressão e multiplicando a equação 3.31 por vento horizontal (Vh), obtêm-se a equação do Balanço Energia Cinética (BEC) para escala sinótica, na forma:

Assim, apresenta-se a equação (3.37) do Balanço da Energia Cinética da escala sinótica:

$$\frac{\partial K_H}{\partial t} = \underbrace{-\nabla_3(\vec{V}_M K_H + \phi_H \vec{V}_{3H})}_{\text{A}} - \underbrace{V_H(\vec{V}_{3H} \cdot \nabla_3 \vec{V}_M)}_{\text{B}} - \underbrace{V_H(\overline{\vec{V}_{3T} \cdot \nabla_3 \vec{V}_T})^H}_{\text{C}} - \underbrace{\omega_H \alpha_H}_{\text{D}} + \underbrace{F_r \cdot \vec{V}_H}_{\text{E}} \quad (3.37)$$

Onde:

O primeiro termo do lado esquerdo é a tendência da Energia Cinética (K_H a partir daqui chamado de EC) da escala sinótica é

$$K_H = \frac{1}{2} |\vec{V}_H|^2 \quad (3.38)$$

O termo A (Equação 3.37) é a convergência tridimensional do fluxo de energia, que inclui um termo de advecção da EC da sinótica pelo escoamento médio e a dispersão de energia associado com fluxo ageostrófico geopotencial.

O termo B é a conversão da energia cinética do escoamento médio para a energia cinética dos eddies, ou seja, este termo envolve o processo físico chamado como Conversão Barotrópica:

$$\begin{aligned} & -\vec{V}_H \cdot (\vec{V}_{3H} \cdot \nabla_3 \vec{V}_M) = \\ & = -\vec{V}_H \cdot \begin{pmatrix} (u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial p}) \\ (u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial p}) \end{pmatrix} \\ & = -\left(u^2 \frac{\partial u}{\partial x} + uv \frac{\partial u}{\partial y} + uw \frac{\partial u}{\partial p} + vu \frac{\partial v}{\partial x} + v^2 \frac{\partial v}{\partial p} \right) \end{aligned} \quad (3.39)$$

O termo C é responsável pela produção da EC sinótica via frequência-cruzada da interação eddies-eddies. Este termo será mostrado a seguir na equação 3.41.

O termo D é a conversão da energia potencial dos eddies para energia cinética dos eddies, ou seja, este termo envolve o processo físico chamado como Conversão Baroclínica:

$$-\omega_H \alpha_H = \frac{-\omega_H}{\rho_H} = -\frac{\omega_H RT_H}{\rho}$$

$$R = \text{constante} \quad (3.40)$$

$$\omega = \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

ω é o termo do movimento vertical em coordenadas de pressão e α é o volume específico.

O termo E é responsável pelo mecanismo de dissipação da EC sinótica.

Na equação 3.37, o termo C (frequência-cruzada da interação eddies-eddies) pode ainda ser decomposto em termos que representam o fluxo total dos eddies transientes em componentes das escalas sinótica, submensal e intrassazonal, expressos por:

$$-\vec{V}_H \cdot \overline{(\vec{V}_{3T} \cdot \nabla_3 \vec{V}_T)}^H = A + B + C + D$$

onde :

$$A = -\vec{V}_H \cdot \overline{(\vec{V}_{3H} \cdot \nabla_3 \vec{V}_H)}^H$$

$$B = -\vec{V}_H \cdot \overline{(\vec{V}_{3H} \cdot \nabla_3 \vec{V}_I + \vec{V}_{3I} \cdot \nabla_3 \vec{V}_H + \vec{V}_{3I} \cdot \nabla_3 \vec{V}_I)}^H$$

$$C = -\vec{V}_H \cdot \overline{(\vec{V}_{3H} \cdot \nabla_3 \vec{V}_L + \vec{V}_{3L} \cdot \nabla_3 \vec{V}_H + \vec{V}_{3L} \cdot \nabla_3 \vec{V}_L)}^H$$

$$D = -\vec{V}_H \cdot \overline{(\vec{V}_{3I} \cdot \nabla_3 \vec{V}_L + \vec{V}_{3L} \cdot \nabla_3 \vec{V}_I)}^H \quad (3.41)$$

O termo A é responsável pela interação entre os eddies de escala sinótica e sinótica.

O termo B é responsável pela interação entre os eddies das escalas sinótica e submensal.

O termo C é responsável pela interação entre os eddies das escalas sinótica e intrassazonal.

O termo D é responsável pela interação entre os eddies das escalas sinótica, submensal e intrassazonal.

No caso da escala submensal, a Equação do Balanço da Energia Cinética pode ser descrita como:

$$\frac{\partial K_I}{\partial t} = \underbrace{-\nabla_3 \cdot (\vec{V}_M K_I + \Phi_I \vec{V}_{3I})}_{\mathbf{A}} - \underbrace{\vec{V}_I \cdot (\vec{V}_{3I} \cdot \nabla_3 \vec{V}_M)}_{\mathbf{B}} - \underbrace{\vec{V}_I \cdot (\overline{\vec{V}_{3T} \cdot \nabla_3 \vec{V}_T})^{\mathbf{I}}}_{\mathbf{C}} - \underbrace{\omega_I \alpha_I}_{\mathbf{D}} + \underbrace{\vec{F}_T \cdot \vec{V}_I}_{\mathbf{E}} \quad (3.42)$$

A barra com índice I representa a média temporal da escala submensal (IF).

Onde:

O primeiro termo do lado esquerdo é a tendência da Energia Cinética (K_H ou EC) da Escala Submensal

$$K_I = \frac{1}{2} |\vec{V}_I|^2 \quad (3.43)$$

O termo A (Equação 3.37) é a convergência tridimensional do fluxo de energia, que inclui um termo de advecção da EC escala submensal pelo escoamento médio e a dispersão de energia associado com fluxo ageostrófico geopotencial.

O termo B é a conversão da energia cinética do escoamento médio para a energia cinética dos eddies, ou seja, este termo envolve o processo físico chamado como Conversão Barotrópica:

$$\begin{aligned} & -\vec{V}_I \cdot (\vec{V}_{3T} \cdot \nabla_3 V_T) = \\ & = -\vec{V}_I \cdot \begin{pmatrix} (u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial p}) \\ (u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial p}) \end{pmatrix} \\ & = - \left(u^2 \frac{\partial u}{\partial x} + uv \frac{\partial u}{\partial y} + uw \frac{\partial u}{\partial p} + vu \frac{\partial v}{\partial x} + v^2 \frac{\partial v}{\partial p} \right) \end{aligned} \quad (3.44)$$

O termo C é responsável pela produção da EC escala submensal via frequência-cruzada da interação eddies-eddies.

O termo D é a conversão da energia potencial dos eddies para energia cinética dos eddies, ou seja, este termo envolve o processo físico chamado como Conversão Baroclínica:

$$-\omega_1 \alpha_1 = \frac{-\omega_1}{\rho_1} = -\frac{\omega_1 R T_1}{\rho}$$

$$R = \text{constante} \tag{3.45}$$

$$\omega = \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

ω é o termo do movimento vertical em coordenadas de pressão e α é o volume específico.

O termo E é responsável pelo mecanismo de dissipação da EC da escala submensal.

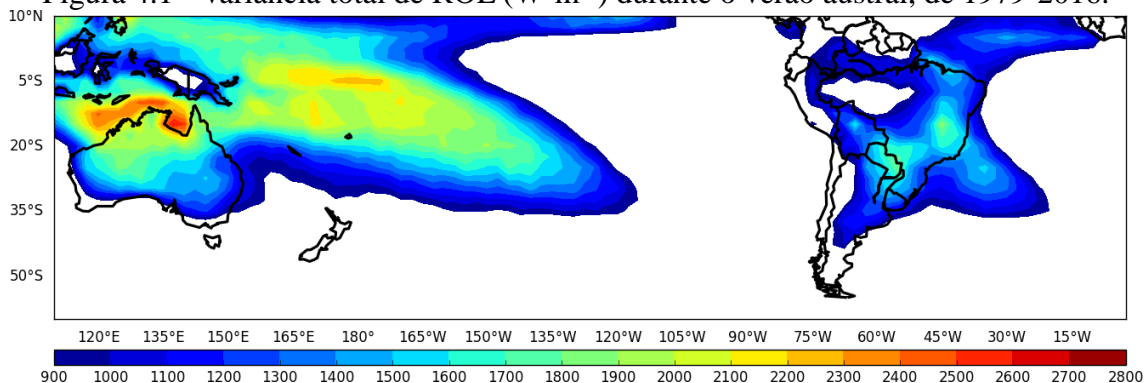
4 ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE ROL

4.1 Padrões espaciais da potência espectral (variância) de ROL

Para uma melhor compreensão dos modos da variabilidade das escalas sinótica, submensal e intrassazonal que atuam nas regiões da América do Sul e oceanos adjacentes, serão apresentados os campos de potência espectral (variância) de ROL obtidas por meio da Transformada de Ondas (TO) (descrito na seção 3.2.1) e as características das escalas envolvidas. Foram discutidos os campos espaciais da variância para as escalas de variabilidade sinótica, submensal e intrassazonal no período de 1979 a 2016 nos meses DJF, considerado os meses de verão. Os campos de variabilidade diferem tanto na intensidade quanto na localização geográfica e evidenciam os ciclos dominantes da atividade convectiva na região de estudo.

No campo da variância total de ROL para o período de verão (Figura 4.1) observam-se sinais mais intensos concentrados no Continente Marítimo, Austrália, oceano Pacífico Oeste, ao longo da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e Sul, Sudeste e Centro-Oeste e Nordeste do Brasil. Na América do Sul, estes valores estão associados com a ZCAS (CARVALHO et al., 2004) onde a atividade convectiva é forte durante o verão. A ZCAS também afeta partes do Centro-Oeste e Nordeste Brasileiro, muitas vezes conectando-se com a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (COELHO et al., 2004; FERREIRA, 1996; WALISER; GAUTIER, 1993). Na Amazônia, como atividade convectiva é dominante ao longo do verão, a variância observada é pequena. No oceano Pacífico, a variabilidade de ROL destaca-se essencialmente pela presença de aglomerados convectivos ao longo da ZCIT (CARVALHO; OYAMA, 2013) e pela convecção ativa no setor subtropical oeste ao longo da ZCPS (KODAMA, 1992; VINCENT, 1994).

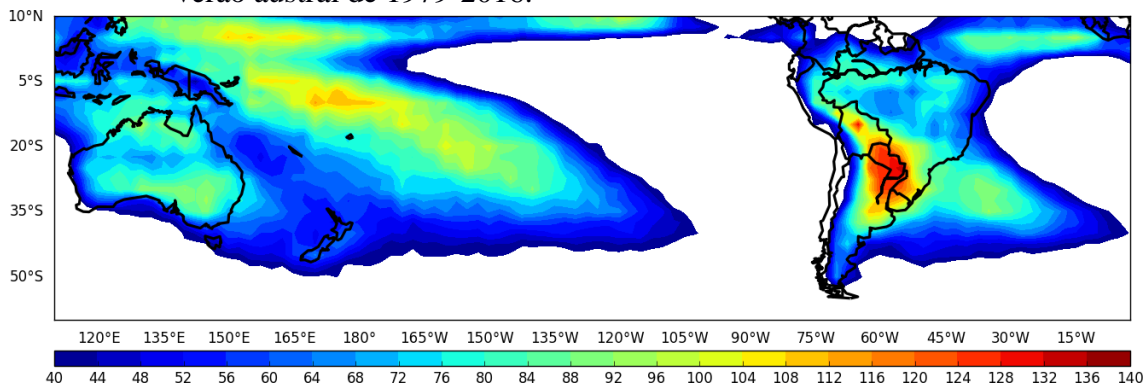
Figura 4.1 - Variância total de ROL (W^2m^{-4}) durante o verão austral, de 1979-2016.



Fonte: Produção do autor.

No padrão espacial de ROL em escala sinótica (Figura 4.2), considerada aqui de 2-8 dias, observam-se valores entre $80 W^2m^{-4}$ e $100 W^2m^{-4}$ na região tropical em torno de $10^{\circ}N-10^{\circ}S$ e também na América do Sul, centrado em $30^{\circ}S/60^{\circ}W$. Essa característica está associada à presença de aglomerados convectivos ao longo da ZCIT (CARVALHO; OYAMA, 2013). No oceano Pacífico Sul, a variância observada é alta ($80 W^2m^{-4}$ a $116 W^2m^{-4}$) ao longo da ZCPS, predominantemente sobre o leste do oceano Pacífico, onde as temperaturas da superfície do mar são relativamente altas e ao longo de regiões dominadas por sistemas transientes (BERBERY; VERA, 1996; TRENBERTH, 1991). Por outro lado, os valores de variância observados na região Sul da América do Sul, estão associados aos sistemas meteorológicos que atuam na região, como, por exemplo, os Sistemas Frontais (CAVALCANTI et al., 2009; REBOITA et al., 2010), Sistemas Convectivos associados ao Jato de Baixos Níveis (JBN) (SALIO ET AL., 2007; SANTOS ET AL., 2008), a Baixa do Chaco (SELUCHI; SAULO, 2012; ESCOBAR, SELUCHI, 2012). Além disso, no Atlântico Equatorial (Figura 4.2), observa-se a atuação da ZCIT caracterizada por forte variabilidade de atividade convectiva.

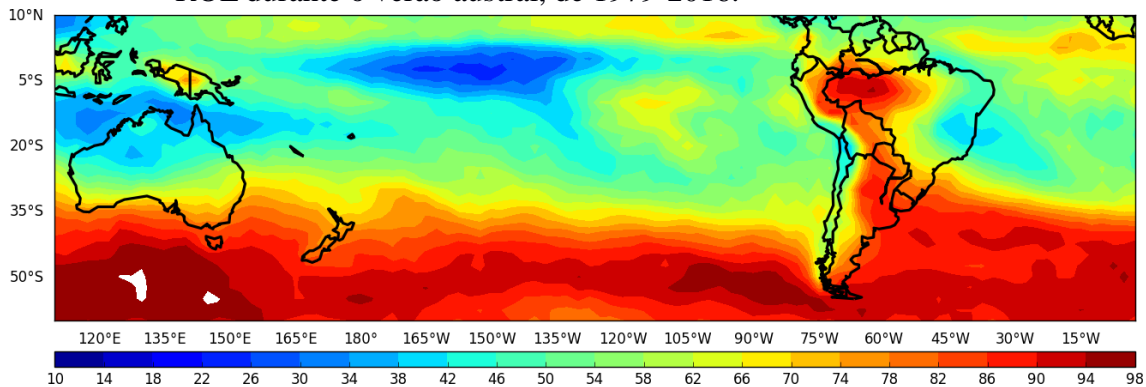
Figura 4.2 - Variância de ROL (W^2m^{-4}) filtradas para a escala sinótica (2- 8 dias) obtida por meio da potência espectral da transformada de ondaletas durante o verão austral de 1979-2016.



Fonte: Produção do autor.

Com o intuito de diagnosticar a contribuição da variabilidade sinótica, analisou-se na Figura 4.3, o campo da relação entre a variância total e a variabilidade sinótica. Neste campo observou-se que a maior percentagem está concentrada nas regiões extratropicais, em torno de 50°S e estão associados à região dos storm tracks (HOSKINS; VALDES, 1990, TRENBERTH, 1991; BERBERY; VERA, 1996; HOSKINS; HODGES, 2005), e nas regiões do Noroeste do Brasil. Também, a grande percentagem observada sobre a Amazônia está associada à convecção ativa e precipitação intensa e persistente sobre a região tropical da AS. Esta característica está associada à Alta da Bolívia.

Figura 4.3 – Porcentagem (%) da variabilidade sinótica em relação à variância total de ROL durante o verão austral, de 1979-2016.

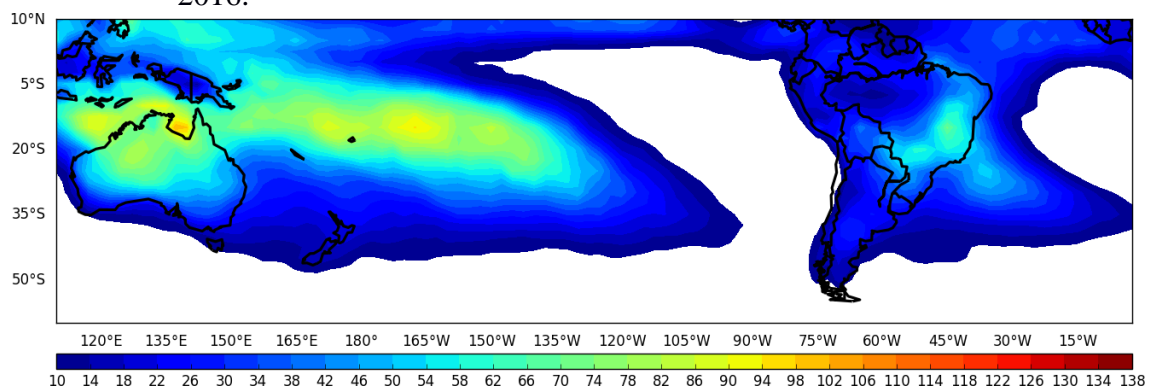


Fonte: Produção do autor.

A variância das anomalias de ROL na escala submensal é apresentada na Figura 4.4. Observam-se valores mais intensos nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil e Oceano Pacífico Oeste, Central e Nordeste da Austrália. No Brasil, observam-se valores em torno de $60 \text{ W}^2\text{m}^{-4}$ a $72 \text{ W}^2\text{m}^{-4}$ associados com o estabelecimento de zonas de convergência como a ZCAS, que atua na região Centro-oeste e Sudeste do Brasil. Este sistema tende a se manifestar, provocando precipitações persistentes e intensas em determinadas regiões do Brasil. A ZCAS é responsável por grande parte da atividade convectiva numa região dominada por convergência do fluxo de vapor de água na baixa troposfera e levantamento forçado de ar nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil durante o verão (CARVALHO et al., 2004; KODAMA, 1992; LIEBMANN, 1999 e outros). Essas características favorecem a formação de nuvens, predominando faixas de nebulosidade, onde pode ocorrer formação de tempestades.

No oceano Pacífico Oeste e Central (Figura 4.4), a atuação da ZCPS, localizada predominantemente sobre o Sul do oceano Pacífico possibilita a formação de bastante atividade convectiva nesta região. Por outro lado, observam-se menores valores de variância ($25 \text{ W}^2\text{m}^{-4}$ a $50 \text{ W}^2\text{m}^{-4}$) ao longo da ZCIT e, também, no oceano Atlântico Norte equatorial, entre os continentes Sul-Americano e Africano.

Figura 4.4 - Variância das anomalias de ROL (W^2m^{-4}) para a escala submensal obtida por meio da transformada de ondaletas durante o verão austral, de 1979-2016.

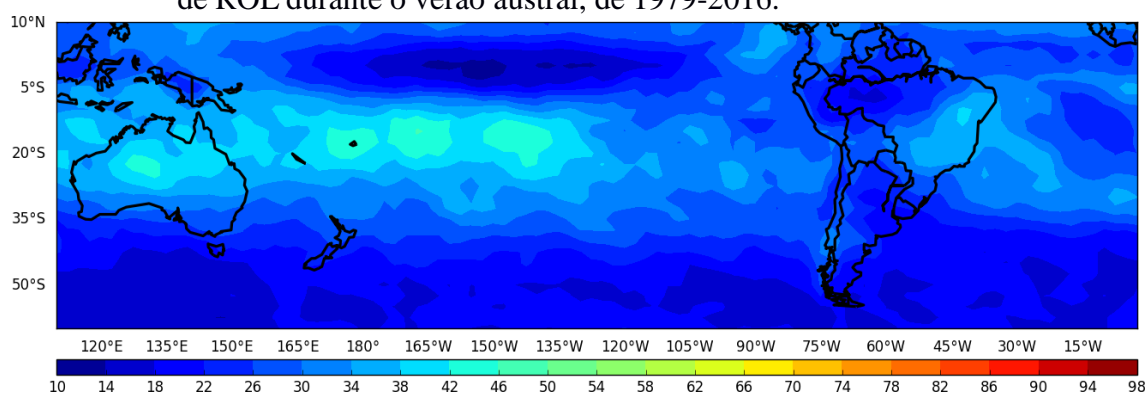


Fonte: Produção do autor.

Em termos de contribuição da importância da escala submensal, o campo da porcentagem da variabilidade de 10-30 dias (Figura 4.5) mostra maiores valores que se concentram na região do Sudeste e Nordeste do Brasil, e também, na região do Oceano Pacífico Oeste e Central e Nordeste da Austrália. Os valores observados no Brasil estão associados ao sistema atmosférico ZCAS que ocorre com frequência no verão da AS. Segundo Carvalho et al. (2004), esse sistema meteorológico interage com outros sistemas de escala sinótica e intrassazonal, como por exemplo, sistemas frontais e OMJ, respectivamente.

A ZCPS atua no verão do Hemisfério Sul e interage com a ZCAS na AS. O estabelecimento da atividade convectiva na ZCPS precede por cerca de 10 dias a atividade convectiva ao longo da ZCAS (CUNNINGHAM, 1996), entre outros e também, está associada à variabilidade intrassazonal no verão austral. Casarin e Kousky (1986) mostraram que a convecção na região central e oeste do Pacífico, especificamente na ZCPS, implicavam numa posterior intensificação da ZCAS, sugerindo um mecanismo de propagação do tipo oscilação de 30-60 dias. A existência dessa onda estava vinculada a convecção na região tropical e nas próprias zonas de convergência.

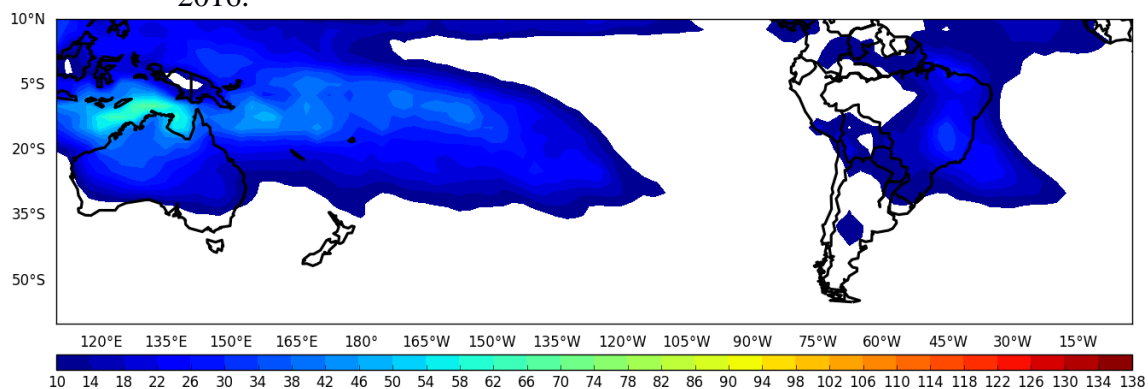
Figura 4.5 – Porcentagem (%) da variabilidade submensal em relação à variância total de ROL durante o verão austral, de 1979-2016.



Fonte: Produção do autor.

No campo espacial da variância da variabilidade intrassazonal (Figura 4.6) observam-se maiores valores nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil que se estende para o oceano Atlântico Tropical e oceano Pacífico Oeste e Nordeste da Austrália. No Brasil, estes valores concentram-se na região Sudeste do Brasil e estão associados à presença da ZCAS (CARVALHO et al., 2004). Por outro lado, no oceano Pacífico Oeste e Continente Marítimo ao longo da ZCPS, os valores de variância variam de $30 \text{ W}^2\text{m}^{-4}$ a $54 \text{ W}^2\text{m}^{-4}$, e estão associadas à OMJ (MADDEN; JULIAN, 1971, 1972), a qual apresenta grande impacto no verão da América do Sul. Segundo Cunningham et al. (2006), existe um processo de teleconexão entre ZCAS e a ZCPS. Neste estudo, os autores constataram que quando a convecção associada à OMJ posiciona-se na proximidade da Indonésia, há movimento ascendente da parcela de ar devido à convecção na região da ZCPS. Posteriormente, em torno de 10 dias, ocorre movimento ascendente da parcela de ar na região da ZCAS.

Figura 4.6 - Variância das anomalias de ROL (W^2m^{-4}) para a escala intrassazonal obtida por meio da transformada de ondaletas durante o verão austral, de 1979-2016.

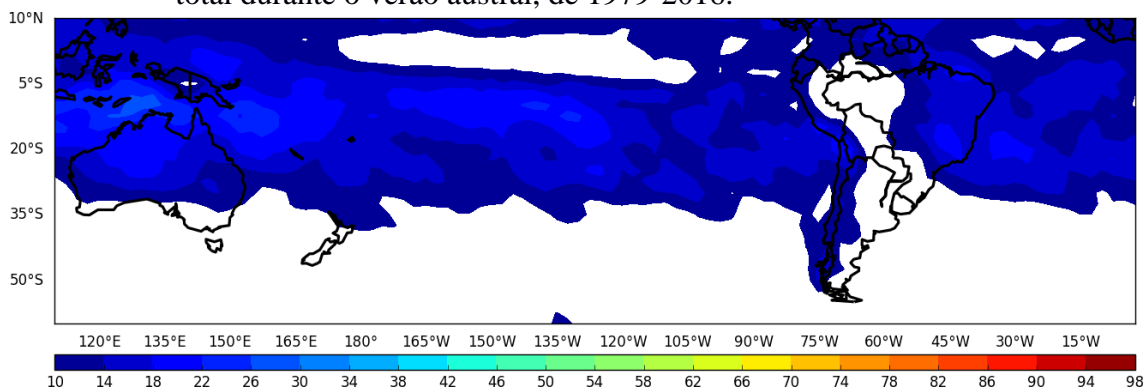


Fonte: Produção do autor.

Para avaliar a dominância da variabilidade intrassazonal, analisou-se o campo de porcentagem da variabilidade de 30-60 dias (Figura 4.7), onde se observou os maiores valores no Pacífico Oeste e Continente Marítimo e nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil. Estes valores podem estar associados à presença da OMJ, que tem impacto no Sudeste e Nordeste do Brasil (VALADÃO et. al, 2017). Resultados semelhantes foram encontrados por Hirata (2013) e Hirata e Grimm (2016), que analisou a variabilidade

intrassazonal associada à convecção de verão na América do Sul. Resultados similares (VERA ET AL., 2017) mostraram que a onda zonal número 1, induz a OMJ, observada na escala de 30-90 dias.

Figura 4.7 – Porcentagem (%) da variabilidade intrassazonal em relação à variância total durante o verão austral, de 1979-2016.



Fonte: Produção do autor.

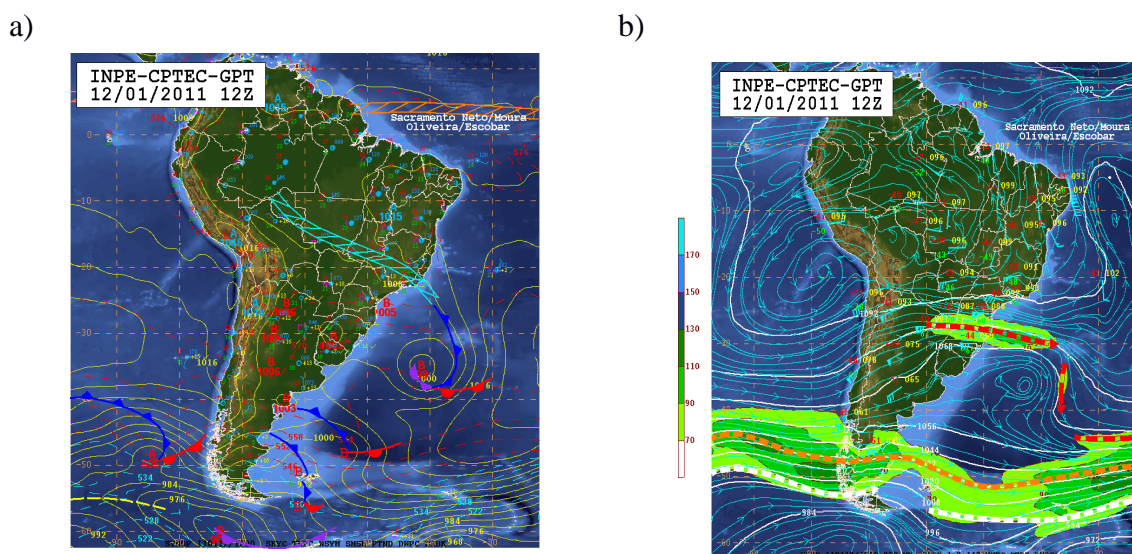
4.2 Características das escalas temporais de ROL no Sudeste do Brasil

O sudeste do Brasil tem seu regime de precipitações influenciado por sistemas atmosféricos em diversas escalas espaciais e temporais. Na escala sinótica, os sistemas frontais e a ZCAS são considerados os principais sistemas que provocam precipitação na região. Na escala intrassazonal, a atuação da OMJ, durante o verão austral, influencia a posição e a intensidade dessa zona de convergência. A característica mais marcante da atuação da Oscilação Intrassazonal (OIS) na AS é a presença de um padrão de gangorra de precipitação entre a região da ZCAS e os subtrópicos (CARVALHO ET AL., 2004; CASARIN; KOUSKY, 1986; CUNNINGHAM; CAVALCANTI, 2006; LIEBMANN ET AL., 1999; NOGUES-PAEGLE; M0, 1997).

4.2.1 Evento de precipitação no Sudeste do Brasil entre os dias 5 a 12 de janeiro de 2011

Durante o período desse estudo, optou-se analisar a primeira quinzena de janeiro de 2011, pois este período foi marcado por intensa precipitação no sudeste do Brasil e pela presença de sistemas com características de múltiplas escalas. A situação marcante ocorreu na região serrana do estado do Rio de Janeiro (RJ) com ocorrência de enchentes, desabamentos e muitos óbitos de pessoas, tornando-se a maior tragédia natural já observada no Brasil (INFOCLIMA, 2011). Especificamente durante o período de 11 a 12 de janeiro de 2011, ocorreram precipitações intensas quando a ZCAS canalizou umidade oriunda da região Amazônica sobre o Sudeste brasileiro. A Figura 4.8 mostra a carta sinótica de superfície correspondente ao dia do evento de precipitação extrema na área serrana do RJ (12/01/2011). Nota-se a presença da ZCAS cruzando o continente sul-americano desde o Atlântico Sudoeste até o sul da região Amazônica. A ZCAS tem como suporte a presença de um ciclone extratropical no Oceano Atlântico Sul em torno de 35°S. Durante o período de 11 a 12 de janeiro, a precipitação observada foi cerca de 250,8 mm de precipitação sobre essa região. Como consequência, houve inundações, deslizamentos de encostas e rios de lama que desceram as montanhas atingindo as cidades, causando a morte de cerca de 800 pessoas. Além disso, milhares de pessoas ficaram desabrigadas, causando um colapso nos sistemas de eletricidade, comunicações, destruindo inúmeras rodovias e pontes. A precipitação acumulada observada no mês de janeiro de 2011 no Município de Nova Friburgo foi de 432,8 mm e para os primeiros quinze dias desse mês foi de 379,8 mm. É importante ressaltar que em apenas 48 horas, entre os dias 11 e 12 de janeiro de 2011, a precipitação acumulada no Município de Nova Friburgo foi de 250,8 mm, ou seja, nesses dois dias choveu além do previsto para todo o mês de janeiro, de acordo com o De Oliveira (2009), cuja normal climatológica da precipitação acumulada para o mês de janeiro, de 1961 a 1990, foi de 232,1 mm.

Figura 4.8 - Carta sinótica de a) superfície e b) altitude (250 hPa) no dia 12 de janeiro de 2011 às 12Z.



Fonte: CPTEC-INPE (2011).

Com o intuito de investigar as escalas dominantes de ROL (proxy de precipitações), analisou-se a fase dessa variável por meio do escalograma da energia e harmônicos dominantes (Figura 4.9^a e b) ao longo do período de estudo na área definida (17°S/311°W a 21°S/316°W) no Sudeste do Brasil. Essa área foi selecionada por apresentar variância mais elevada (ver seção 4.1) na América do Sul e por estar localizada ao longo da ZCAS. A intensidade dos coeficientes das ondaletas e os períodos associados estão apresentados em escala logarítmica na Figura 4.9^a e no eixo x é mostrado o tempo em dias e no eixo y as escalas da ondaleta, que variam de 2 a 110 dias. Inicialmente, são apresentadas algumas características gerais dos períodos de variabilidade de ROL, mas a ênfase é dada no verão austral (Figura 4.9b) em função da importância da atividade convectiva nesse período. Em geral, observa-se um comportamento aperiódico ao longo do tempo com picos nas escalas sinótica, submensal e intrassazonal. Observa-se que a banda de alta frequência (2-10 dias) está presente de forma não organizada em todo o período, devido às limitações da resolução da Figura que está sendo analisada, que em casos específicos poderiam ser visualizados por meio de “zooms” nos períodos de interesse. Na escala submensal, destacam-se os picos em 11, 15, e 25 dias caracterizados por amplitudes variável e relativamente altas

na primavera, verão e outono. No caso da banda intrassazonal, observa-se de forma marcante que no início de 2011, quando a ZCAS estava presente, os eventos na escala de tempo intrassazonal interagem com as escalas de frequências mais altas. Essa característica está de acordo com os estudos de Kousky e Kayano (1994), Liebmann et al. (1999), os quais mostraram que a amplitude do modo intrassazonal está relacionada com a ZCAS. Observa-se também que as oscilações sinóticas, submensal e intrassazonal de ROL não apresentam um comportamento periódico, mas a interação existente entre essas escalas aparentemente sempre estão presentes. Esses resultados estão de acordo com Cai e Mak (1990) que sugerem que ondas de escala planetária de baixa frequência e ondas de escala sinótica de alta frequência, dentro de um estado equilibrado da atmosfera são simbioticamente dependentes umas das outras. Além disso, de acordo com Cuff e Cai (1995), em um estudo observacional sobre a interação entre os transientes de baixa e alta frequência, a partir da transferência de energia entre os modos de baixa e alta frequência os resultados mostram que os transientes de baixa frequência organizam os transientes de alta frequência (SCHNEIDER, 2004). Neste sentido, ocorre interação entre distúrbios transientes de alta frequência (ondas de Rossby com período de 6 a 25 dias) e a OMJ. Matthews e Kiladis (1999) destacaram mudanças ocorridas no padrão de circulação atmosférica devido à interação entre os transientes.

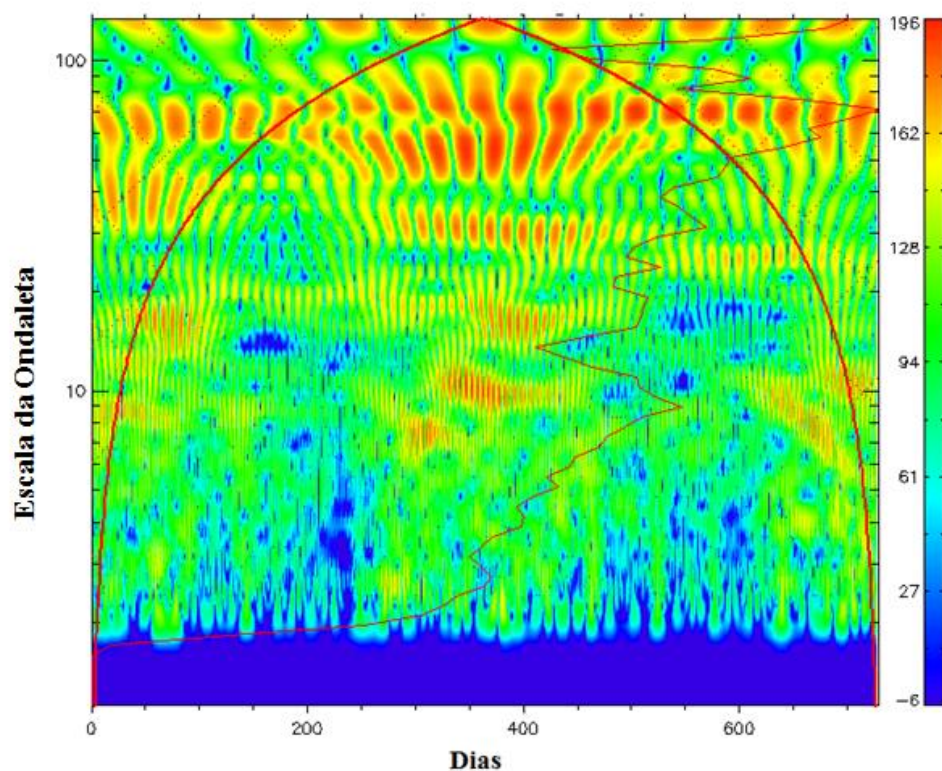
A Figura 4.10^a mostra um mapa de contornos calculados a partir do Global Wavelet Spectrum em várias latitudes (meridiano 42.5°W). Pode-se observar que existe uma faixa longitudinal específica (130°W a 75°W), exceto pela presença de uma pequena região onde o ciclo anual e interanual (2 anos) são relativamente altos, onde a potência dos harmônicos selecionados de escala intrassazonal e sinótica é mínima. A potência dos harmônicos aumenta na direção para leste e oeste a partir dessa faixa tal que no Pacífico Sul (180°W a 125°W) destaca-se a presença de diversas escalas (ciclo anual, intrassazonal, submensal e sinótica). Entretanto, o sinal da potência espectral torna-se fraco no Pacífico Sudeste (125°W a 75°W). Por outro lado, indo na direção leste, no Pacífico Sul o sinal das diversas escalas tornam-se novamente forte de 75°W a 43°W na América do Sul e enfraquece no Atlântico Sul. Deve-se destacar que ao longo de 17,5°S

a atividade convectiva é atenuada por águas relativamente frias no Pacífico Leste e Atlântico Leste e pela Cordilheira dos Andes, mas no Pacífico Oeste e América do Sul ela pode ser modulada por sistemas transientes, zonas de convergência e outros sistemas de escala submensal e intrassazonal.

No corte longitudinal (60°N a 60°S) ao longo de 42.5°W (Figura 4.10b) o ciclo anual é marcante ao longo da América do Sul, ZCIT e parte do Atlântico Norte equatorial. Por outro lado, observa-se uma ampla faixa com escalas variando da sinótica, intrassazonal e semianual principalmente nos trópicos e subtropicais da América do Sul. A presença simultânea das escalas sinótica, submensal e intrassazonal, coincidindo com o estabelecimento de sistemas de tempo persistente como a ZCAS evidencia a ocorrência da interação de escalas. Como mostrado na Figura 4.9, anualmente ocorre de forma distinta, uma gama de escalas principalmente a sinótica, submensal (11, 15 e 25 dias) e a intrassazonal (45 e 90 dias). A escala intrassazonal ocorre com maior frequência e organização, mas apresenta menor variabilidade interanual quando comparada com a submensal.

Figura 4.9 – Características das escalas da série temporal de ROL centrada em 20°S e 45.2°W (posição da ZCAS) durante o período de 01 de Novembro de 2010 a 31 de janeiro de 2011 a) *Wavelet Power Spectrum* (Morlet wavelet) mostrando contornos com variâncias normalizadas em várias escalas (Superposta a Figura destaca-se em vermelho a potência espectral e o cone de influência). No eixo das abscissas o espaçamento é de 50 em 50 dias e valor 375 corresponde ao dia 11 de janeiro de 2011, b) Harmônicos (amplitude) significativos da transformada de ondaletas. Linha azul representa a atuação simultânea das escalas sinótica, submensal e intrassazonal durante o evento.

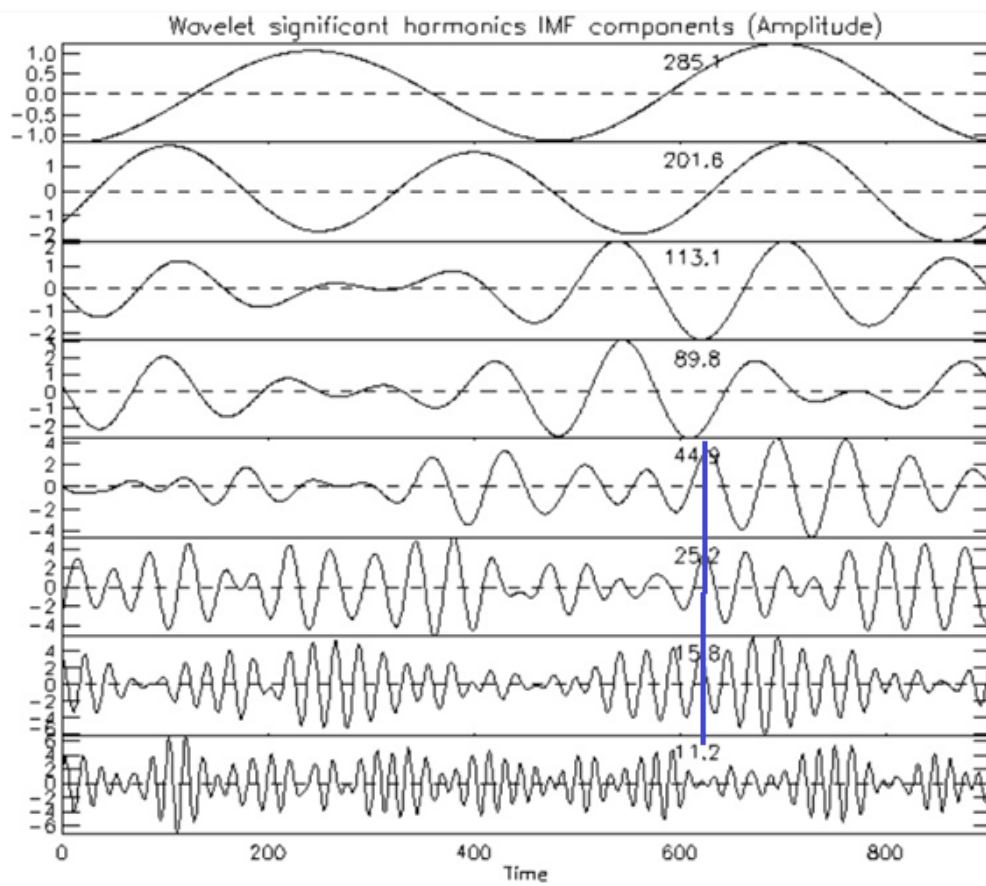
a)



continua

Figura 4.9 Conclusão

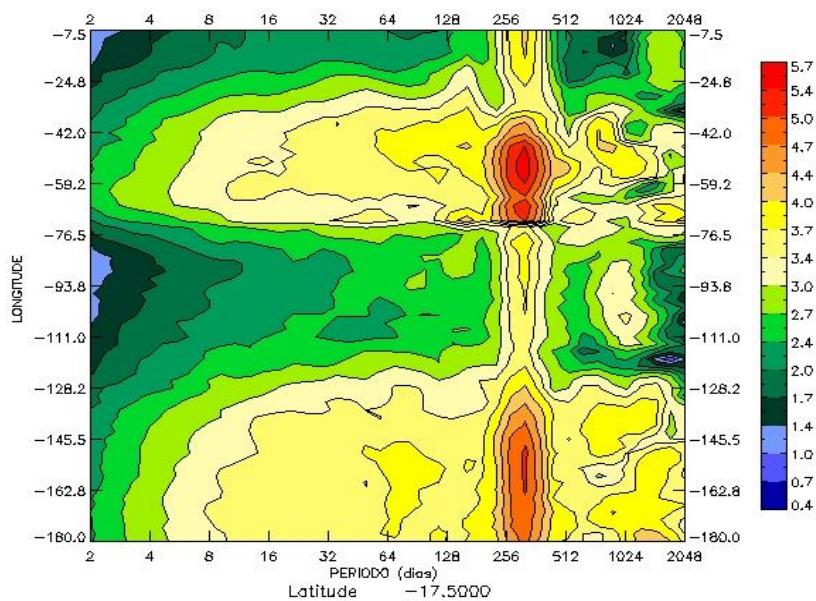
b)



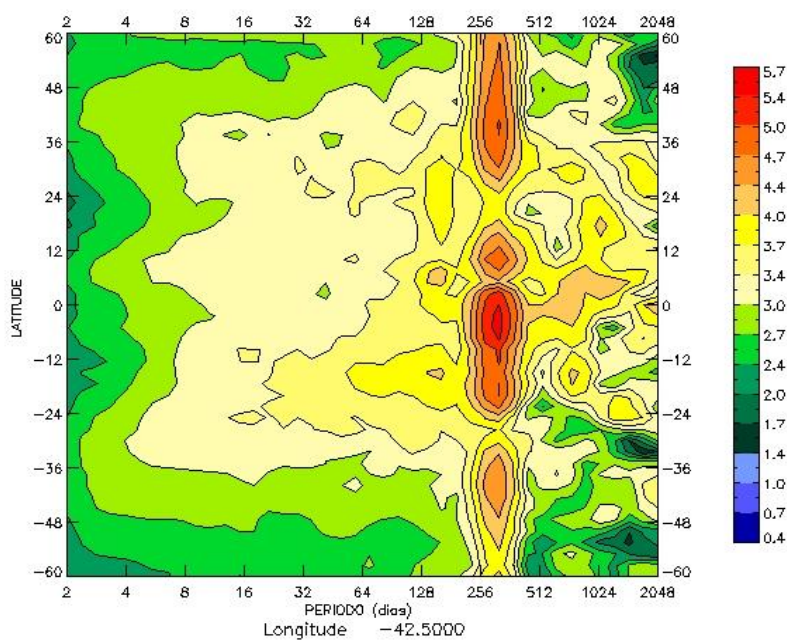
Fonte: Produção do autor.

Figura 4.10 - Valores dos harmônicos do global wavelet spectrum de ROL, em função de: a) longitude (ao longo de 17.5°S) e b) latitude (ao longo de 42.5°W). A potência dos harmônicos é mostrada pelos vários níveis da intensidade das escalas de cores. Os períodos são apresentados em escala logarítmica.

a)



b)

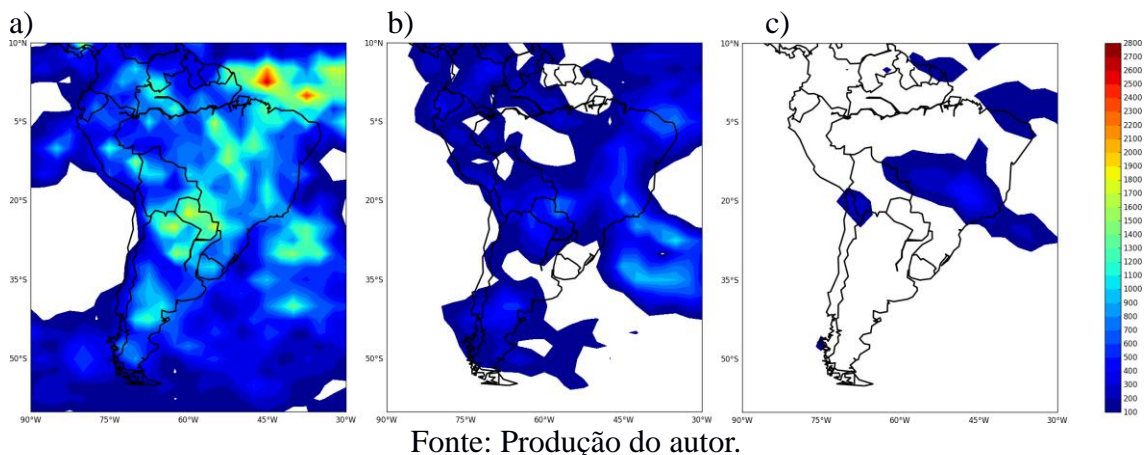


Fonte: Produção do autor.

A Figura 4.11 mostra o comportamento médio da potência espectral de ROL na escala sinótica, submensal e intrassazonal, durante o período crítico (5 a 12 de Janeiro de 2011) associado ao evento extremo na região Serrana do Rio de Janeiro. Observa-se uma ampla faixa com valores elevados de potência espectral de ROL estendendo-se de noroeste para sudeste do Brasil coincidindo com o estabelecimento de um período convectivamente ativo na ZCAS. A amplitude apresenta valores maiores na escala sinótica, seguido pelas escalas submensal e intrassazonal. Este evento causou grandes volumes de precipitação nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, e Mato Grosso. Além disso, a ZCAS associou-se com um vórtice ciclônico da alta troposfera provocando precipitação no Norte do Nordeste Brasileiro. Por sua vez, a fase de supressão de convecção esteve presente em grande parte do Nordeste da Argentina e sul do Brasil. O padrão espacial oposto de convecção entre as planícies subtropicais e a região onde a ZCAS atua é característico do padrão de gangorra de precipitação, o qual é dominante durante o verão austral na AS (CARVALHO et al., 2004; LIEBMANN et al., 1999; NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997). Além da atuação da ZCAS, observaram-se outros sistemas atmosféricos como a ZCIT, o VCAN e a convecção tropical continental que intensificaram o evento e interagiram com a ZCAS. Além deste caso analisado, foram apresentadas outras análises de períodos de ZCAS durante o verão austral de 2006 a 2014 (ver Apêndice A).

Para a meteorologia operacional, no âmbito da previsão do tempo, seria muito importante obter estes campos espaciais do comportamento médio da potência espectral de ROL com dados previstos a fim de analisar quais escalas atuam nos eventos de precipitação, e assim, poder avaliar se devido a atuação de escalas, simultaneamente, há chance de ocorrer chuvas mais intensas.

Figura 4.11 - Campo espacial médio da variância de ROL (W^2m^{-4}) para as faixas espectrais das escalas a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal durante o período de 05 a 12 de janeiro de 2011.



Fonte: Produção do autor.

Levando-se em consideração o nível de confiança de 95% para o espectro global da ondaleta da ROL observa-se na vizinhança do dia 11 de janeiro uma forte interação das componentes espectrais intrasazonais subdividas em grupos de ondas com períodos de 88, 73, 58 e 31 dias, harmônico submensal com período de 17 e ondas com períodos de 10 dias (harmônicos de escala sinótica). O grande volume de precipitação que ocorreu entre os dias 11 e 12 de janeiro associado a amplitudes elevadas de ROL são indicativos de acentuada atividade convectiva associada com a oscilação intrassazonal (OIS) na região.

Com base no presente caso sugere-se que quando na Região Sudeste do Brasil o padrão espacial da fase negativa da OIS (favorável para atividade convectiva) coincidir com o correspondente padrão de distúrbios de escala submensal (ZCAS) e sinótica ocorre uma forte interação de escalas tal que a ZCAS torna-se mais ativa e chove mais. Em situações desse tipo, na escala sinótica a advecção de vorticidade ciclônica e a divergência associada na alta troposfera tornam-se mais eficientes para a manutenção dos movimentos verticais ascendentes e instabilidade na região.

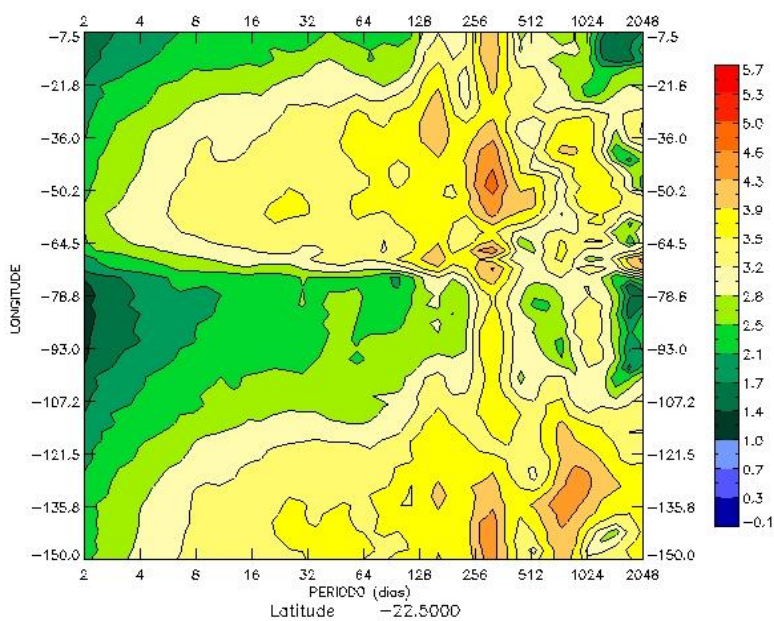
4.2.2 Evento de precipitação no Sudeste do Brasil entre os dias 9 e 16 de fevereiro de 2011

Além do evento analisado anteriormente, optou-se analisar outros casos de ZCAS em que houve intensa precipitação no sudeste do Brasil. Na Figura 4.12a é apresentada um mapa de contornos calculados a partir do Global Wavelet Spectrum em várias latitudes. Pode-se destacar na faixa longitudinal (60°W a 21°W) a presença de diversas escalas como: ciclo anual, intrassazonal, submensal e sinótica. Entretanto, o sinal da potência espectral torna-se fraco em 70°W a 85°W. Por outro lado, indo na direção leste, o sinal das diversas escalas tornam-se novamente forte de 120°W a 150°W. Deve-se destacar que ao longo de 22,5°S a atividade convectiva é atenuada por águas relativamente frias no Pacífico Leste e Atlântico Leste e pela Cordilheira dos Andes, mas no Pacífico Oeste e América do Sul ela pode ser modulada por sistemas transientes, zonas de convergência e outros sistemas de escala submensal e intrassazonal.

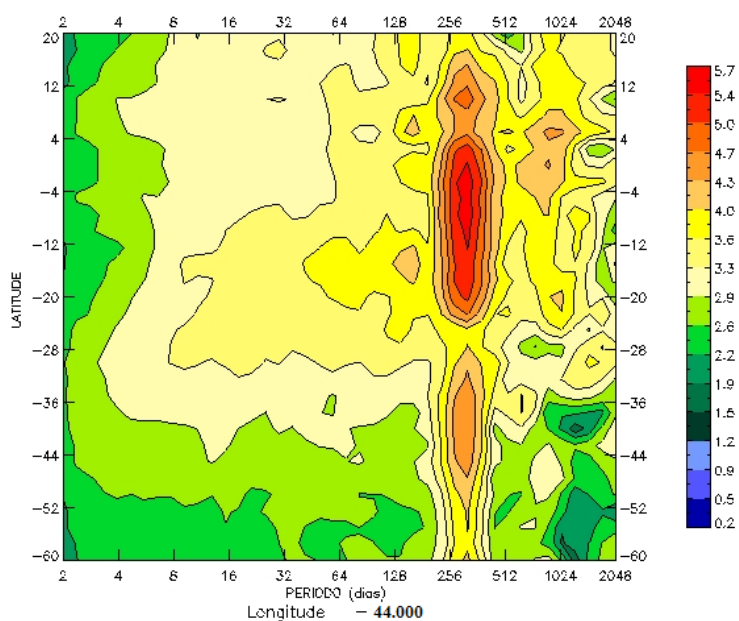
No corte longitudinal (20°N a 60°S) ao longo de 44.5°W (Figura 4.12b) o ciclo anual é marcante ao longo da América do Sul, ZCIT e parte do Atlântico Norte equatorial. Por outro lado, observa-se uma ampla faixa com escalas variando da submensal, intrassazonal e semianual principalmente nos trópicos e subtropicais da América do Sul. A presença simultânea das escalas submensal e intrassazonal, coincidindo com o estabelecimento de sistemas de tempo persistente como a ZCAS evidencia a ocorrência da interação de escalas.

Figura 4.12 - Valores dos harmônicos do global wavelet spectrum de ROL, em função de: a) longitude (ao longo de 22.5°S) e b) latitude (ao longo de 44.0°W). A potência dos harmônicos é mostrada pelos vários níveis da intensidade das escalas de cores. Os períodos são apresentados em escala logarítmica.

a)



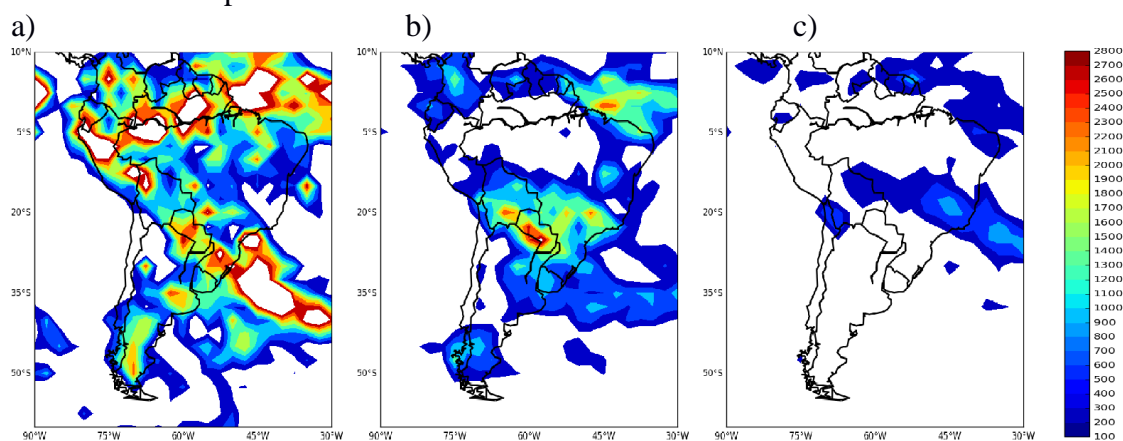
b)



Fonte: Produção do autor.

Na Figura 4.13 é apresentado o comportamento médio da potência espectral de ROL na escala sinótica, submensal e intrassazonal, durante o período de 09 a 16 de fevereiro de 2011 associado a ocorrência de um evento de ZCAS. Observa-se uma ampla faixa com valores elevados de potência espectral de ROL estendendo-se de noroeste para sudeste do Brasil coincidindo com o estabelecimento de um período convectivamente ativo na ZCAS. A amplitude apresenta valores maiores na escala sinótica, seguido pelas escalas submensal e intrassazonal. Neste evento a precipitação mais intensa ocorreu nas regiões centro-oeste do Brasil, sul da região sudeste (litoral de SP) e norte da região Sul (nordeste de SC e leste do PR). Além disso, a ZCAS associou-se a intensa convergência de umidade em 850 hPa (Climanálise, 2011) que favoreceu os acumulados de chuva nas regiões.

Figura 4.13 - Campo espacial médio da variância de ROL ($W2m-4$) para as faixas espectrais das escalas a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal durante o período de 09 a 16 de fevereiro de 2011.



Fonte: Produção do autor.

4.2.3 Evento de precipitação no Sudeste do Brasil entre os dias 22 e 25 de dezembro de 2014

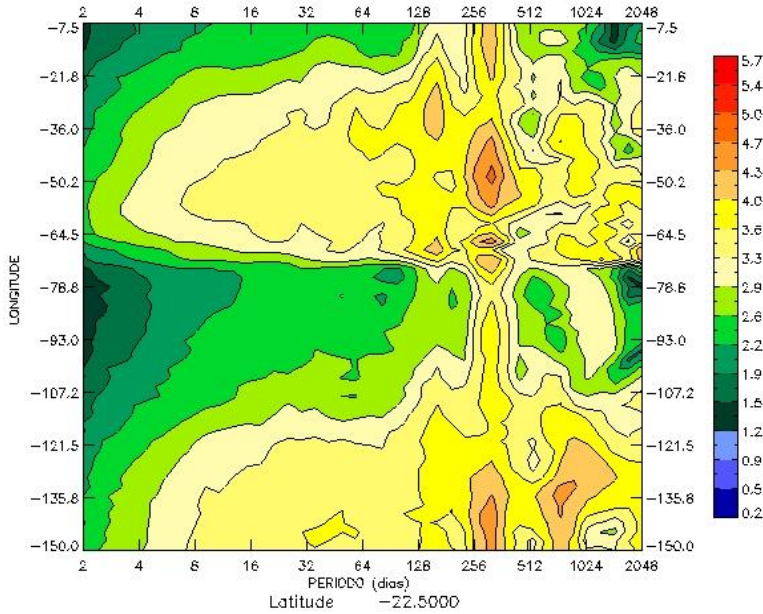
No período entre os dias 22 a 25 de dezembro de 2014 teve a ocorrência de outro caso de ZCAS, em que se observou intensa precipitação nas regiões sul da região norte, centro-oeste, sudeste e norte da região sul. Além da ZCAS, outros sistemas como circulação ciclônica em 850 hPa, movimento vertical em 500hPa e divergência de massa em 200 hPa influenciaram na ocorrência de eventos de chuva nestas regiões.

Na Figura 4.14a é apresentada um mapa de contornos calculados a partir do Global Wavelet Spectrum em várias latitudes. Destaca-se na faixa longitudinal (60°W a 21°W) a presença de diversas escalas como: ciclo anual, intrassazonal, submensal e sinótica. Observou-se o sinal das diversas escalas novamente forte de 107°W a 150°W. Deve-se destacar que ao longo de 22,5°S a atividade convectiva é atenuada por águas relativamente frias no Pacífico Leste e Atlântico Leste e pela Cordilheira dos Andes. Por outro lado, no Pacífico Oeste e América do Sul ela pode ser modulada por sistemas transientes, zonas de convergência e outros sistemas de escala submensal e intrassazonal.

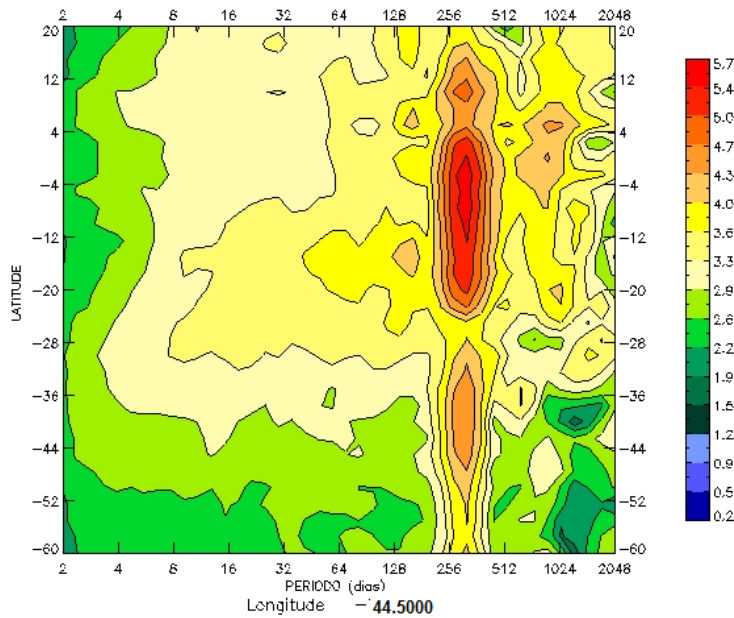
No corte longitudinal (20°N a 60°S) ao longo de 44.5°W (Figura 4.14b) o ciclo anual é marcante ao longo da América do Sul, ZCIT e parte do Atlântico Norte equatorial. Por outro lado, observa-se uma ampla faixa com escalas variando da submensal, intrassazonal e semianual principalmente nos trópicos e subtropicais da América do Sul. A presença simultânea das escalas submensal e intrassazonal, coincidindo com o estabelecimento de sistemas de tempo persistente como a ZCAS evidencia, novamente, a ocorrência da interação de escalas.

Figura 4.14 - Valores dos harmônicos do global wavelet spectrum de ROL, em função de: a) longitude (ao longo de 22.5°S) e b) latitude (ao longo de 44.0°W). A potência dos harmônicos é mostrada pelos vários níveis da intensidade das escalas de cores. Os períodos são apresentados em escala logarítmica.

a)



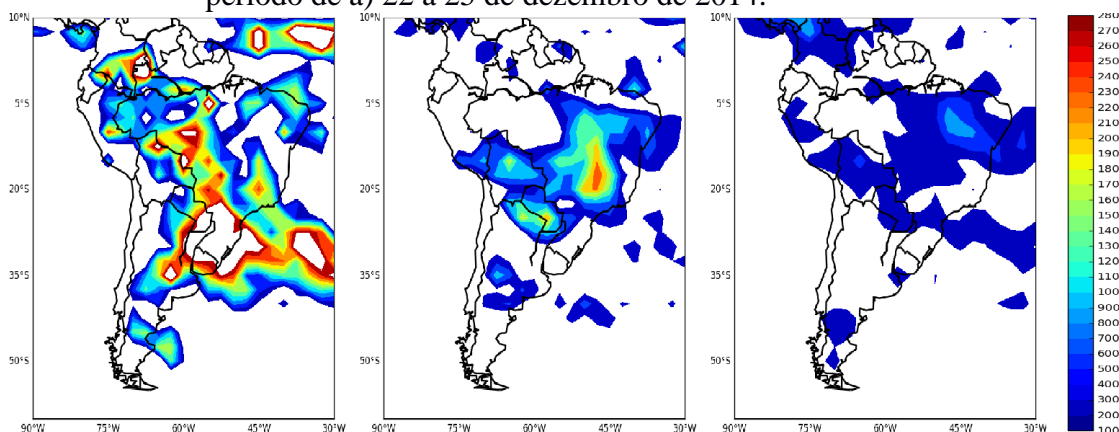
b)



Fonte: Produção do autor.

Na Figura 4.15 é apresentado o comportamento médio da potência espectral de ROL na escala sinótica, submensal e intrassazonal, durante o período de 22 a 25 de dezembro de 2014 associado a ocorrência de um evento de ZCAS. Observa-se uma ampla faixa com valores elevados de potência espectral de ROL estendendo-se de noroeste para sudeste do Brasil coincidindo com o estabelecimento de um período convectivamente ativo na ZCAS. A amplitude apresenta valores maiores na escala sinótica, seguido pelas escalas submensal e intrassazonal. Neste evento a precipitação mais intensa ocorreu nas regiões centro-oeste e sudeste do Brasil.

Figura 4.15 - Campo espacial médio da variância de ROL (W^2m^{-4}) para as faixas espectrais das escalas sinótica, submensal e intrassazonal durante o período de a) 22 a 25 de dezembro de 2014.



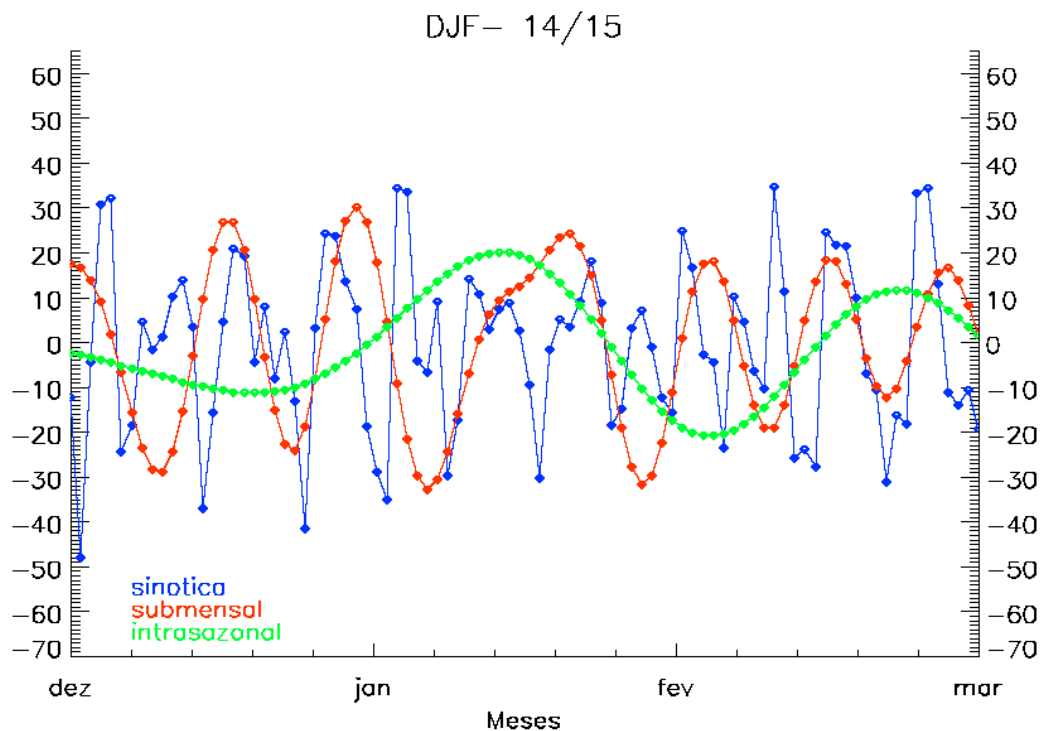
Fonte: Produção do autor.

Com o intuito de investigar a escala submensal que apresentou maior intensidade, para este caso diferentemente dos outros casos, analisou-se a série temporal de ROL da componente real obtida por meio transformada de ondaletas das escalas submensal, sinótica e intrassazonal. Para a escala submensal, existem poucos estudos que enfocam as características meteorológicas associadas à variabilidade de 10-30 dias, e como foi observada, anteriormente, esta escala apresenta maior contribuição que a escala intrassazonal em regiões da América do Sul. Observou-se que a importância de estudar a variabilidade submensal é devido à mesma atuar com maior intensidade e significância no período da atuação da ZCAS durante o verão da AS.

Desta forma, foram analisadas as séries temporais das anomalias de ROL para as escalas sinótica, submensal e intrassazonal durante o período de verão. Para a análise, escolheu-se a região mostrada no padrão espacial da potência espectral (variância) de ROL, onde se observou maiores valores de variância. Neste caso, a região escolhida está localizada em torno de 17°S/311W a 21°S/316W (região Sudeste do Brasil). Em geral, observa-se que a escala submensal domina na série temporal para a região Sudeste.

Na Figura 4.16, destacam-se 5 pontos mínimos e 6 pontos máximos para a escala submensal (cor vermelha). Os pontos mínimos estão associados a anomalias negativas de ROL, o que indica atividade convectiva na região. No dia 22 de dezembro de 2014 observa-se que a escala submensal apresenta um valor menor (em torno de -24) quando comparada as escalas intrassazonal (cor verde) e sinótica (cor azul), que mostram valores em torno de -10 e 4, respectivamente. Estes valores demonstram que a escala submensal dominou neste dia. No dia 23 de dezembro de 2014, observa-se um decaimento (valor em torno de -12) da escala sinótica, juntamente com a escala submensal (valor em torno de -24), enquanto a escala intrassazonal observa-se um aumento (valor de -9). Porém, as 3 escalas de variabilidade apresentam valores negativos (anomalias negativas de ROL), o que indica atividade convectiva. Neste sentido, pode-se dizer que há interação de escalas no dia 23 dezembro de 2014, onde ocorre a distribuição de energia entre as diversas escalas. De acordo com Cai e Mak (1990), os autores sugerem que ondas de escala planetária de baixa frequência e ondas de escala sinótica de alta frequência, dentro de um estado equilibrado da atmosfera são simbioticamente dependentes umas das outras. No contexto de analisar a interação entre escalas, Cuff e Cai (1995), em um estudo observacional sobre a interação entre os transientes de baixa e alta frequência, obtiveram resultados sobre a transferência de energia entre os modos de baixa e alta frequência. Os autores argumentam que os transientes de baixa frequência organizam os de alta frequência (SCHNEIDER, 2004).

Figura 4.16 - Série temporal de ROL para a escala sinótica (linha azul), submensal (linha vermelha) e intrassazonal (linha verde) durante o período de DJF de 2014/2015 na região Sudeste da América do Sul.

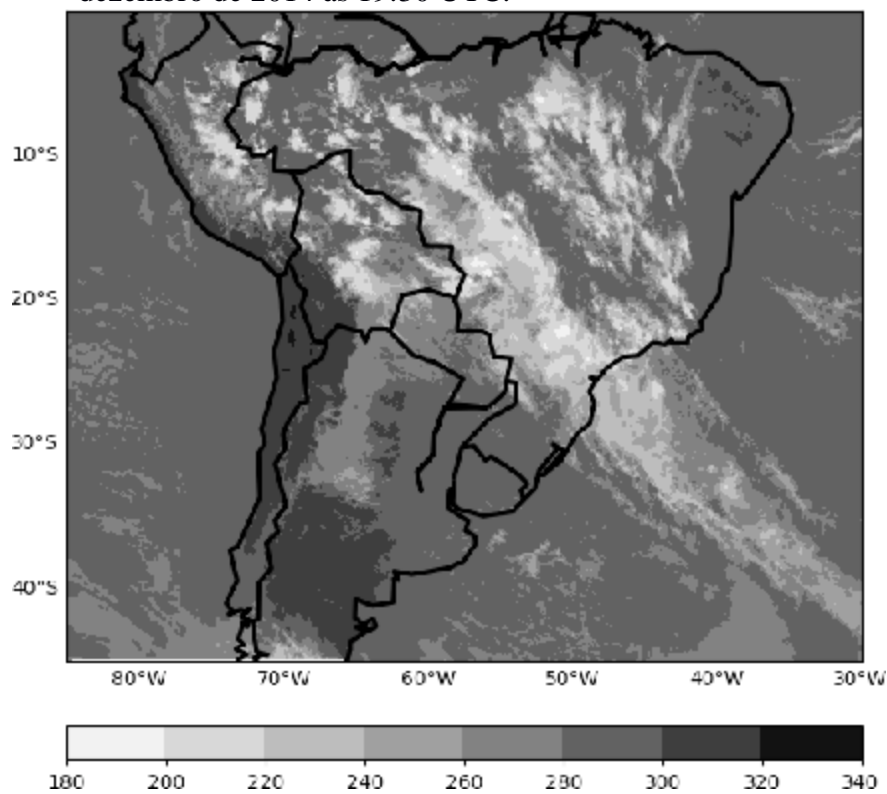


Fonte: Produção autor.

Neste caso optou-se para uma análise mais aprofundada do dia 22 de dezembro de 2014, foram analisadas a imagem de satélite e a circulação atmosférica em que a escala submensal dominou. Desta forma, observando a imagem de satélite (Figura 4.17), nota-se nebulosidade na região Sudeste do Brasil associada a frente fria, a qual, posteriormente, tornou-se a ZCAS, onde se observou a convergência dos ventos de nordeste e sudeste para a região Sudeste.

Na Figura 4.17, observa-se na imagem de satélite GOES-13 para o dia 22 de dezembro de 2014 às 19:30 UTC, nebulosidade em grande parte da região Sul/Sudeste do Brasil. Na região Sudeste do Brasil, nota-se um canal de umidade, o qual atuou entre os dias 22 a 25 de dezembro e, normalmente atua nesta época do ano.

Figura 4.17 - Imagem do satélite GOES-13 no canal infravermelho no dia 22 de dezembro de 2014 às 19:30 UTC.

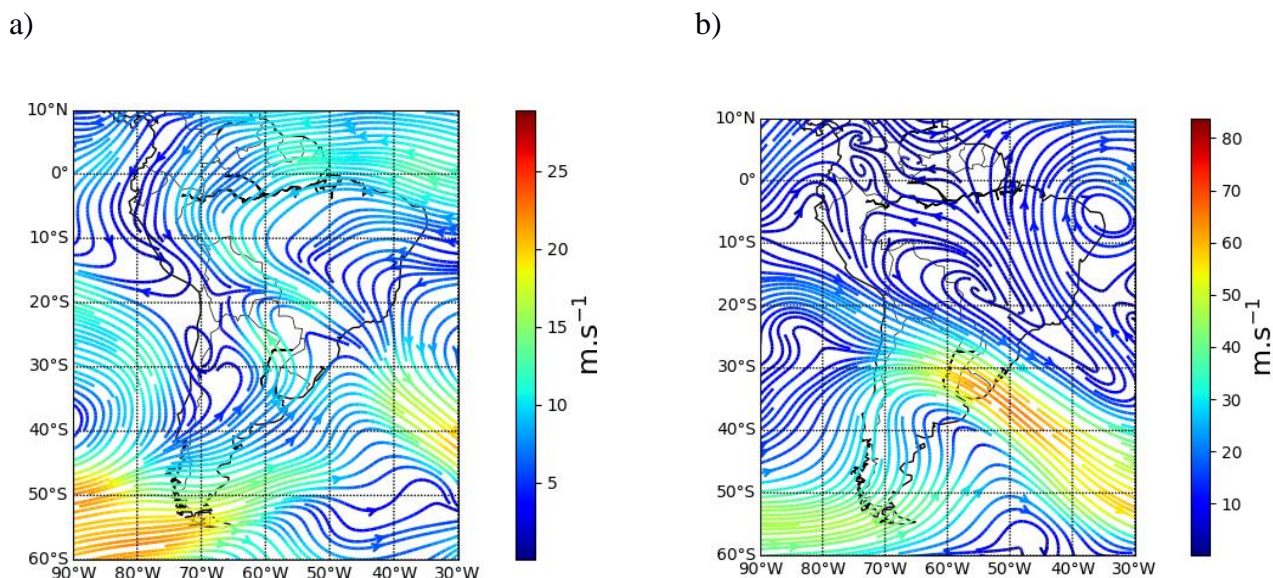


Fonte: Produção do autor.

Na Figura 4.18, são mostradas a componente do vento (linhas de corrente) em altos (300 hPa) e baixos níveis. (850 hPa). Nos altos níveis (Figura A.8b), observa-se circulação anticiclônica em grande parte da AS e a leste desta circulação observa-se o vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN). Observou-se, também, que o jato subtropical está bem intenso na região sul do Brasil e a oeste do jato observa-se dois cavados, um no Pacífico Sul e outro na região Sul da América do Sul. Na região Sudeste observa-se convergência do vento, associada ao canal de umidade. Nos baixos níveis (Figura A.8a) observa-se a atuação da ASAS adentrando no continente. Os ventos associados a ASAS vindos do Oceano Atlântico em direção à região da Amazônia apresentam mudança na direção para sudeste do Brasil, o que indica que há transporte de umidade e calor para a região Sudeste do Brasil. Na região Sul observa-se um cavado, que indica tempo instável a leste deste cavado. Na região Sudeste, observa-se convergência do vento associados ao transporte de umidade e calor da Amazônia e ao cavado observado da

região Sul, esta convergência está associada ao canal de umidade observado na imagem de satélite (Figura 4.17).

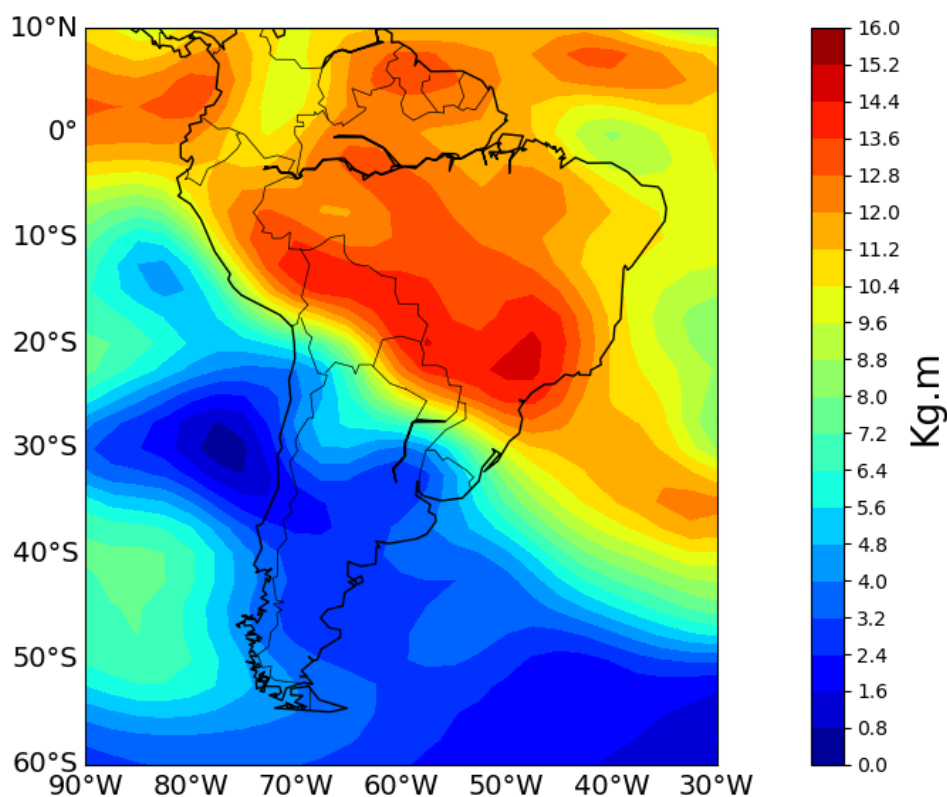
Figura 4.18 - Vento (linhas de corrente) em a) baixos (850 hPa) e b) altos (300 hPa) níveis no dia 22 de dezembro de 2014.



Fonte: Produção do autor.

Na Figura 4.19, é mostrado o campo de umidade específica em baixos níveis (850 hPa). Nas regiões sudeste, centro-oeste e norte (bacia Amazônica) observam-se valores de umidade em torno 12,8 Kg.m a 15,2 Kg.m. Essas regiões são as mesmas em que se observou a circulação dos ventos em baixos níveis da região da Amazônia para a região Sudeste do Brasil. Desta forma, pode-se dizer que há transporte de umidade e calor da região Amazônica para a região sudeste do Brasil. Na região Sul da América do Sul e Pacífico Sul, observa-se valores de umidade específica entre 0 Kg.m e 4,8 Kg.m, associados à ASPS (circulação anticiclônica).

Figura 4.19 - Umidade específica em baixos níveis (850 hPa) no dia 22 de dezembro de 2014.



Fonte: Produção do autor.

4.3 Discussões dos resultados

Neste capítulo foram analisados os modos de variabilidade das escalas sinótica, submensal e intrassazonal que modulam os principais sistemas atmosféricos responsáveis por produzir precipitação no verão da AS a partir da análise dos campos de potência espectral (variância). Os resultados encontrados para a escala sinótica, mostram variâncias mais significativas sobre a região tropical associada à ZCIT, na região Sul da AS associadas aos sistemas frontais e ao longo de regiões dominadas por sistemas transientes. Na escala submensal, observou-se maiores valores de variância nas regiões Centro-oeste e Sudeste do Brasil associado à ZCAS e, também se observa no

Oceano Pacífico Oeste, Central e nordeste da Austrália devido à atuação da ZCPS. Na escala intrassazonal, os maiores valores de variância foram observados no oceano Pacífico e nas regiões Sudeste e Nordeste da América do Sul que podem estar associados à presença da OMJ. Em resumo, observa-se que a escala submensal apresentou maior intensidade e teve maior importância quando comparada as outras escalas.

Avaliou-se, também, a influência das escalas de variabilidade dos sistemas de tempo associadas à ocorrência da intensa precipitação observada durante o verão austral de 2010-2011 sobre a região Sudeste do Brasil. No que se refere ao impacto de sistemas de escala intrassazonal, os resultados mostraram que acentuada atividade convectiva na escala intrassazonal começou a atuar no sudeste do Brasil no final do mês de dezembro, intensificando a atuação de um evento de ZCAS. A oscilação intrassazonal continuou a intensificar-se até o fim da primeira quinzena do mês de janeiro de 2011. Esta oscilação contribuiu de maneira significativa na ocorrência dos grandes volumes de precipitação na região Sudeste intensificando a atuação dos sistemas atmosféricos regionais. Durante a atuação da ZCAS na região Sudeste em janeiro de 2011, observou-se a presença simultânea das escalas sinótica, submensal e intrassazonal, o que evidencia a ocorrência da interação de escala.

Além do evento analisado anteriormente, optou-se analisar outros dois casos de ZCAS em que houve intensa precipitação no sudeste do Brasil e que também, constatou-se interação de escalas. Primeiramente, nos dias 11 a 16 de fevereiro de 2011 e nos dias 22 a 25 de dezembro de 2014, durante a ocorrência de um evento de ZCAS observou-se uma ampla faixa com valores elevados de potência espectral de ROL estendendo-se de noroeste para sudeste do Brasil. A amplitude apresentou valores maiores na escala sinótica, seguido pelas escalas submensal e intrassazonal. No primeiro caso, observou-se uma ampla faixa com escalas variando da submensal, intrassazonal e semianual principalmente nos trópicos e subtropicais da América do Sul. A presença simultânea das escalas submensal e intrassazonal, coincidindo com o estabelecimento de sistemas de tempo persistente como a ZCAS evidencia, novamente, a ocorrência da interação de escalas. No segundo caso (22 a 25 de dezembro de 2014), durante a atuação da ZCAS

na região Sudeste, a escala submensal (dia 22 de dezembro) apresentou maior intensidade. Assim, constatou-se que a escala submensal teve um papel maior para a intensificação da ZCAS. Por outro lado, observou-se novamente que as escalas (no dia 23 de dezembro de 2014) atuaram simultaneamente, indicando que há interação de escalas, onde ocorre uma distribuição de energia entre as diversas escalas.

5 MODOS DE VARIABILIDADE DO VENTO NA ALTA TROPOSFERA

Apresenta-se nesta seção uma análise das principais características espaço temporal do vento meridional na alta troposfera durante o verão austral, utilizando-se o método POP descrito na Seção 3.2.2. O vento meridional em 300 hPa foi escolhido, porque possibilita uma visão dos padrões oscilatórios (cristas e cavados). Para inicializar o POP em base na contribuição da variância explicada (Tabela 5.1), foram utilizados 15 EOFs das séries temporais dos dados v300 referentes às escalas submensal e intrassazonal. Este número de EOFs explica aproximadamente 95% da variância total.

5.1 Análises dos modos de variabilidade do vento meridional em 300hPa

Inicialmente apresenta-se uma análise estatística para identificar os modos dominantes do POP, isso inclui uma avaliação da variância explicada, período e o tempo de decaimento das oscilações. Diferentemente de outros métodos, o principal modo do POP não é necessariamente o primeiro. Para identificar este modo é necessário realizar uma análise dos seguintes parâmetros: variância explicada, erro relativo e componente paralelo. Posteriormente, apresenta-se a análise do padrão espacial dos modos para a componente meridional do vento em 300 hPa (v300) focando os anos de 2006 a 2016. Outras décadas não foram analisadas uma vez que o foco do trabalho não incluía variabilidade interanual e decadal. Analisaram-se, também, composições e anomalias de ROL e do vento em baixos (850 hPa) e altos níveis (300 hPa). Apresenta-se, a seguir a análise da escala submensal, e posteriormente, a escala intrassazonal.

5.2 Análises da escala submensal

A Tabela 5.1 apresenta a síntese dos resultados estatísticos obtidos com a aplicação do POP na série de dados de v300 na escala submensal para o período de verão austral nos anos de 2006-2016. São exibidas as componentes real e imaginária dos quatro primeiros modos do v300/POP, estes modos apresentam períodos de oscilação que variam de 17 a 28 dias (coluna 2) e um tempo de decaimento médio menor que 43 dias (coluna 1). O tempo de decaimento de um modo é o tempo que a amplitude de uma sequência de padrões leva até decair exponencialmente, e pode ser interpretado como a significância

estatística desses modos ou o tempo em que o sinal ainda é observado antes que o ruído se torne predominante (FERREIRA, 2014). No presente estudo, como o tempo de decaimento dos modos é menor que seu período, pode-se dizer que, no caso da onda com período de 43 dias, por exemplo, as oscilações permanecem durante a metade desse período antes de serem amortecidas. A Tabela 5.1 mostra os parâmetros estatísticos dos modos do POP para a escala submensal. Observa-se que o primeiro e o segundo modo, considerado os modos mais significativos, apresentam um tempo de decaimento de 43,01 e 32,10 dias e um período de oscilação de 17,77 e 19,15 dias, respectivamente. Nas análises que seguem, foram descritos o primeiro e o segundo modo do v300/POP por representarem a maior parte da variância total dos modos do POP (17,7% e 14,9%, respectivamente) (Tabela 5.1).

Tabela 5.1 Parâmetros estatísticos do POP para a escala submensal.

Modos do POP	Tempo de decaimento	Período da oscilação	Variância explicada	Variância explicada Acumulativa
1Real (R)	43.01	17.77	0.177	0.177
Imaginária (I)	43.01	17.77		
2R	32.10	19.15	0.149	0.328
I	32.10	19.15		
3R	25.98	21.70	0.078	0.413
I	25.98	21.70		
4R	18.80	28.65	0.071	0.486
I	18.80	28.65		

5.2.1 Padrão espacial do modo dominante da componente meridional do vento em 300 hPa

A evolução dos padrões espaciais das componentes real e imaginária do v300/POP pode ser analisada simultaneamente, o que permite que as propagações das anomalias de v300 sejam acompanhadas através de um ciclo por meio uma sequência cíclica infinita (Seção 3.2.2). Nesse contexto, os padrões espaciais do primeiro modo POP são

apresentados na Figura 5.2 em 8 ciclos ou fases. Entre uma fase e outra, o período é de aproximadamente 4 dias. Em geral observa-se no oceano Pacífico Sul a presença de um trem de onda bem definido na alta troposfera com anomalias positivas e negativas do vento meridional, estendendo-se por todo o Hemisfério Sul. Esse padrão em vários aspectos se assemelha ao comportamento das storm tracks no Hemisfério Sul (BERBERY; VERA, 1996; TRENBERTH, 1991), mas ao invés do número de ondas 6 ou 7 como no caso do primeiro estudo referenciado acima, apresenta número de onda 4. Este padrão compara-se a propagação de ondas de Rossby, o que se assemelha ao trabalho de Grimm e Silva Dias (1995), onde analisaram que as variações na convecção da ZCAS parecem estar relacionadas a uma onda de Rossby que se origina sobre o Pacífico, cuja estrutura é quase equivalente barotrópica. O padrão de trem de ondas observado na Figura 5.2 parece associar uma ZCAS intensificada (suprimida) com falta (excesso) de precipitação sobre o Sul do Brasil, Uruguai, nordeste da Argentina (LIEBMANN et al., 1999; NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997) e Andes Central (ACEITUNO; MONTECINOS, 1997).

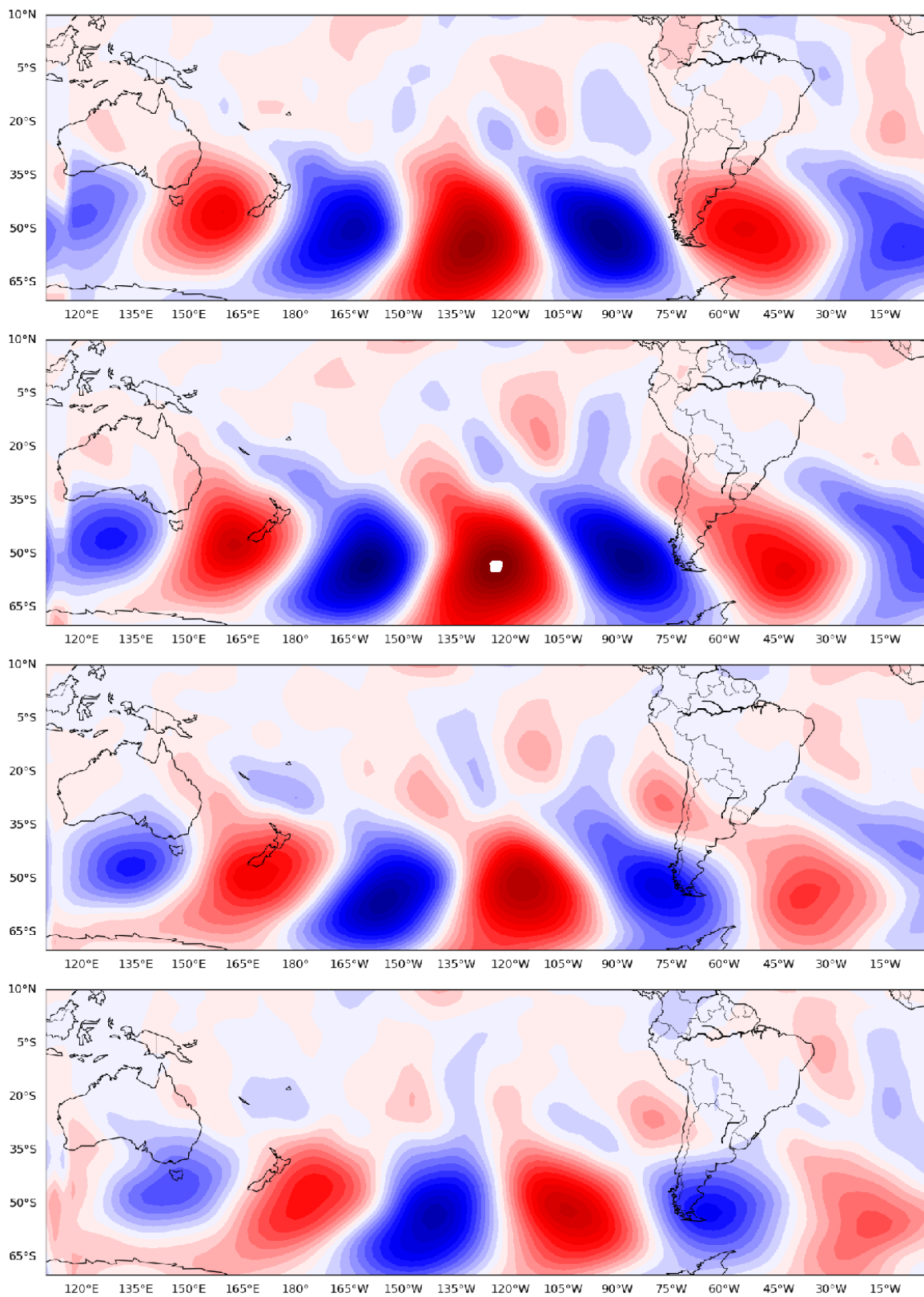
Considerando-se as condições favoráveis (anomalias negativas/ ciclônica do vento meridional ou presença de cavado) ou desfavoráveis (anomalias positivas/ anticiclônica do vento meridional ou presença de crista) para o estabelecimento de atividade convectiva na região Sudeste do Brasil durante o período chuvoso, tipicamente dominado pela ZCAS na evolução das 8 fases do v300/POP (Figura 5.2) revela as seguintes características:

- a) Fases favoráveis (1 a 3), nesse período destacam-se a presença de um trem de ondas tipo storm tracks bem definido em latitudes médias do Pacífico Sul, anomalias negativas (ou seja, vento de sul) atingindo parte do SE do Brasil e uma ampla anomalia anticiclônica (vento vindo de norte) no Atlântico SW se estendendo até o Pacífico Sudeste/Chile na fase 6. Nessas fases observa-se propagação dos trens de ondas para nordeste a partir do sul da Argentina que ligam pulsos convectivos das regiões ZCPS e ZCAS e estão associadas com ambas as fases do padrão de dipolo de precipitação no SE. Os resultados obtidos

indicam que demora aproximadamente 15 dias para a anomalia ciclônica do vento meridional deslocar-se da região da ZCPS até a ZCAS. O maior aporte de umidade sobre o continente nesse período, associado à penetração do ar frio de origem extratropical, são determinantes para esse processo (GARREUD; WALLACE, 1998; SATYAMURTY et al., 2013).

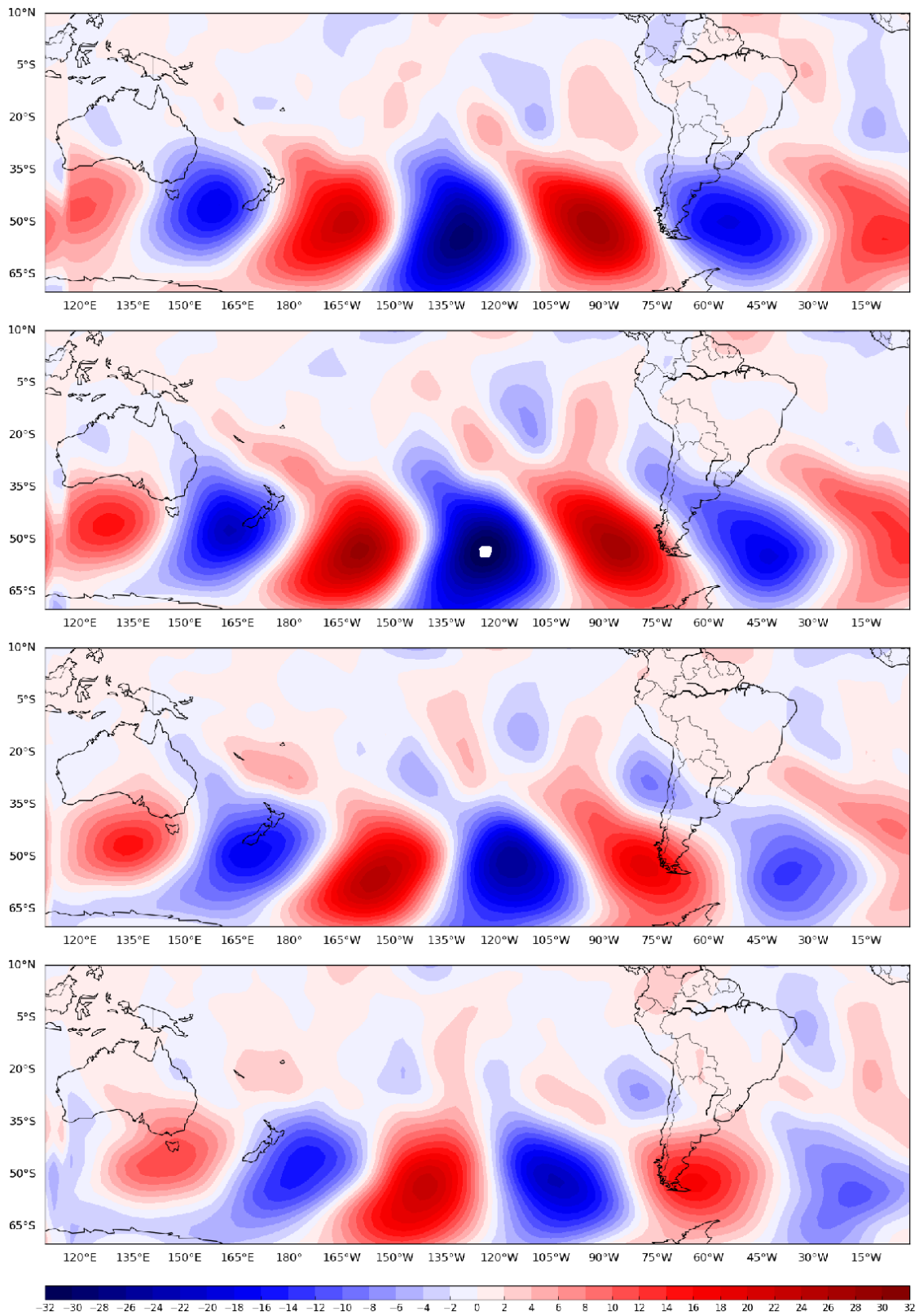
- b) Fases desfavoráveis (4 a 6), esse período também é caracterizado por trens de ondas deslocando-se para leste do Pacífico Sul, mas com ampla anomalia negativa (vento vindo de sul) no Atlântico SW, se estendendo para noroeste na direção do Chile na fase 5, oposto ao observado na fase 1. Esse período está associado ao aumento do fluxo de umidade na direção sul da região amazônica e ao aumento da pluviosidade nas planícies subtropicais. A estrutura do dipolo na precipitação está associada a mudanças distintas na posição e intensidade da Alta da Bolívia (VERA ET AL., 2000), entre outros.
- c) Fases de transição (7 e 8), esse período também se caracteriza por um trem de ondas que se desloca do Pacífico Sul para América do Sul. Assim como foi observado nas fases 3 e 4, ocorre o mesmo padrão, porém de forma oposta, onde se observam anomalias positivas (negativas) agora se observam anomalias negativas (positivas).

Figura 5.2 – Evolução espacial do primeiro modo do POP para o vento meridional em 300 hPa na escala submensal (10-30 dias).



continua

Figura 5.2 – Conclusão.



Fonte: Produção do autor.

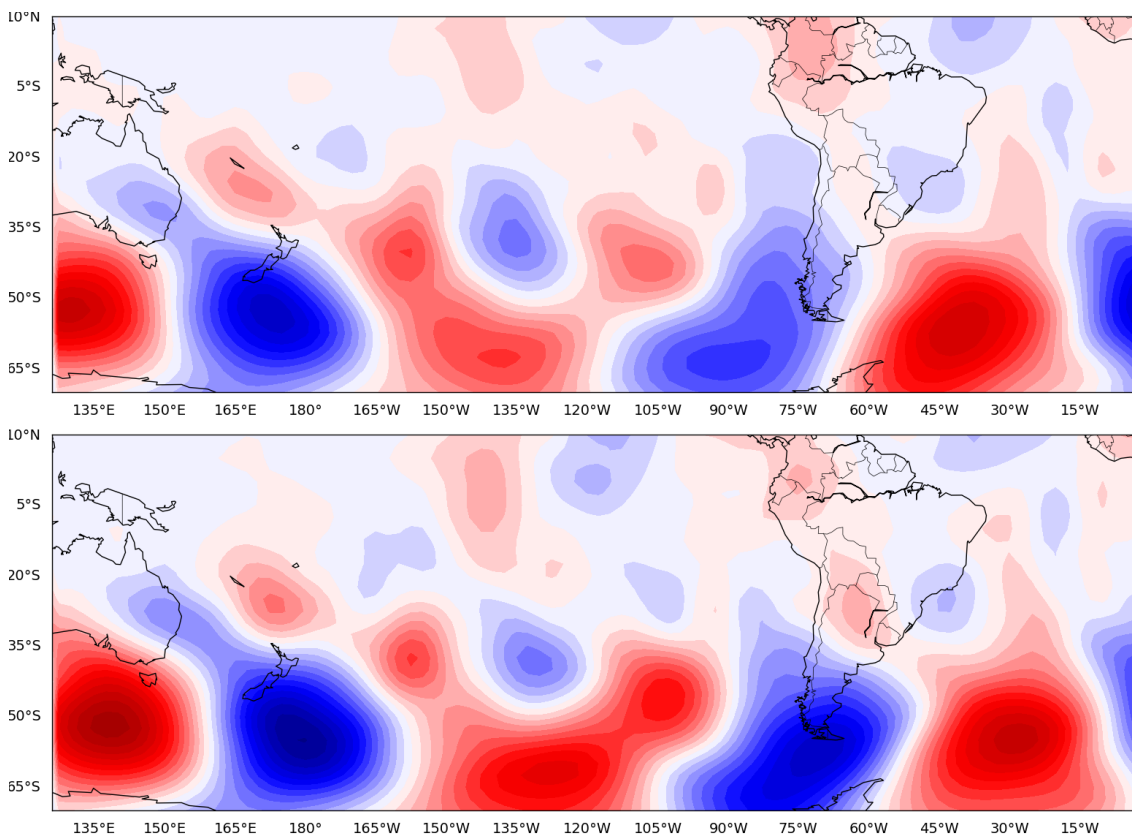
Na Figura 5.3, são apresentados os padrões espaciais do segundo modo POP em 8 ciclos ou fases. Em geral observa-se no oceano Pacífico Sul a presença de um trem de onda na alta troposfera com anomalias positivas e negativas do vento meridional, estendendo-se por todo o Hemisfério Sul. Esse padrão em vários aspectos se assemelha ao comportamento das storm tracks no Hemisfério Sul (BERBERY; VERA, 1996; TRENBERTH, 1991), mas ao invés do número de ondas 6 ou 7 como no caso do primeiro estudo referenciado acima, apresenta número de onda 4. Este padrão compara-se a propagação de ondas de Rossby, o que se assemelha ao trabalho de Grimm e Silva Dias (1995), onde analisaram que as variações na convecção da ZCAS parecem estar relacionadas a uma onda de Rossby que se origina sobre o Pacífico, cuja estrutura é quase equivalente barotrópica.

Considerando-se as condições favoráveis (anomalias negativas/ ciclônica do vento meridional ou presença de cavado) ou desfavoráveis (anomalias positivas/ anticiclônica do vento meridional ou presença de crista) para o estabelecimento de atividade convectiva na região Sudeste do Brasil durante o período chuvoso, tipicamente dominado pela ZCAS na evolução das 8 fases do v300/POP (Figura 5.3) revela as seguintes características:

- a) Fases favoráveis (1 a 3), nesse período destacam-se a presença de um trem de ondas tipo storm tracks bem definido em latitudes médias do Pacífico Sul, anomalias negativas atingindo parte do SE do Brasil, anomalia anticiclônica (vento de norte) no Chile e uma ampla anomalia ciclônica (vento de sul) no extremo sul da AS na fase 2. Nessas fases observa-se propagação dos trens de ondas (cristas e cavados) para nordeste a partir do sul da Argentina que ligam pulsos convectivos das regiões ZCPS e ZCAS e estão associadas com ambas as fases do padrão de dipolo de precipitação no SE.
- b) Fases desfavoráveis (4 a 6), esse período também é caracterizado por trens de ondas deslocando-se para leste do Pacífico Sul, mas com ampla anomalia positiva no Chile, se estendendo para sudoeste na direção do Pacífico Sudoeste na fase 4, oposto ao observado na fase 1.

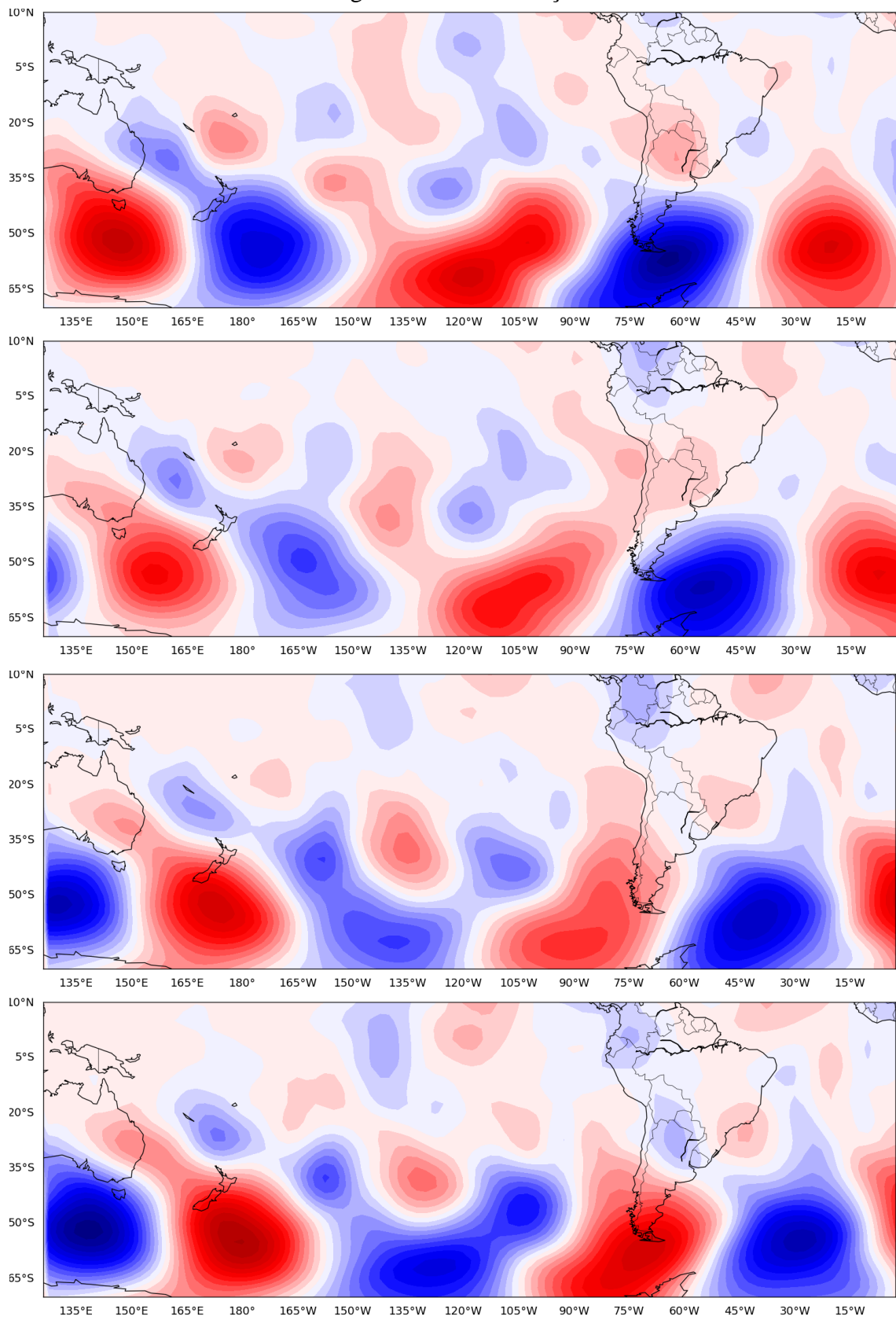
c) Fases de transição (7 e 8), esse período também se caracteriza por um trem de ondas que se desloca do Pacífico Sul para América do Sul. Assim como foi observado nas fases 3 e 4, ocorre o mesmo padrão, porém de forma oposta, onde se observam anomalias positivas (negativas) agora se observam anomalias negativas (positivas).

Figura 5.3 – Evolução espacial do segundo modo do POP para o vento meridional em 300 hPa na escala submensal (10-30 dias).



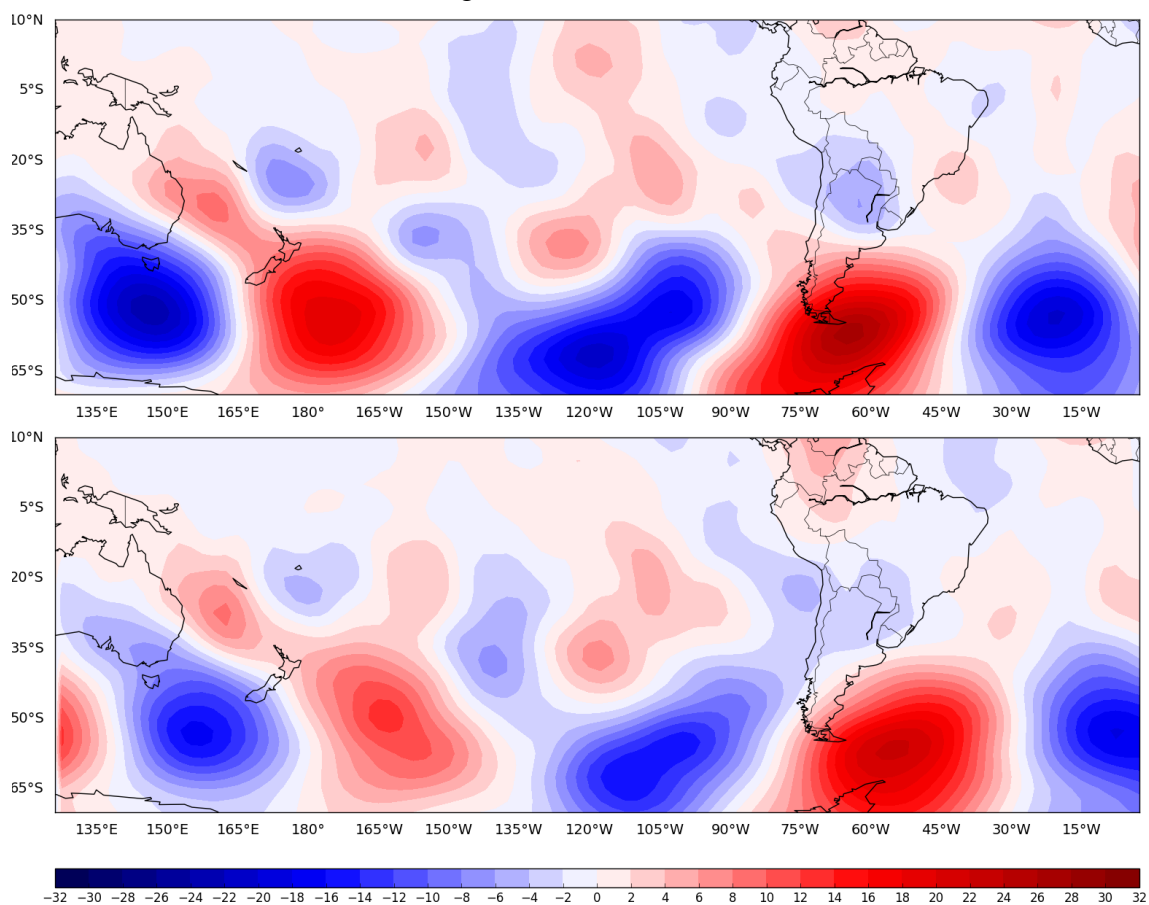
continua

Figura 5.3 – Continuação.



continua

Figura 5.3 – Conclusão.

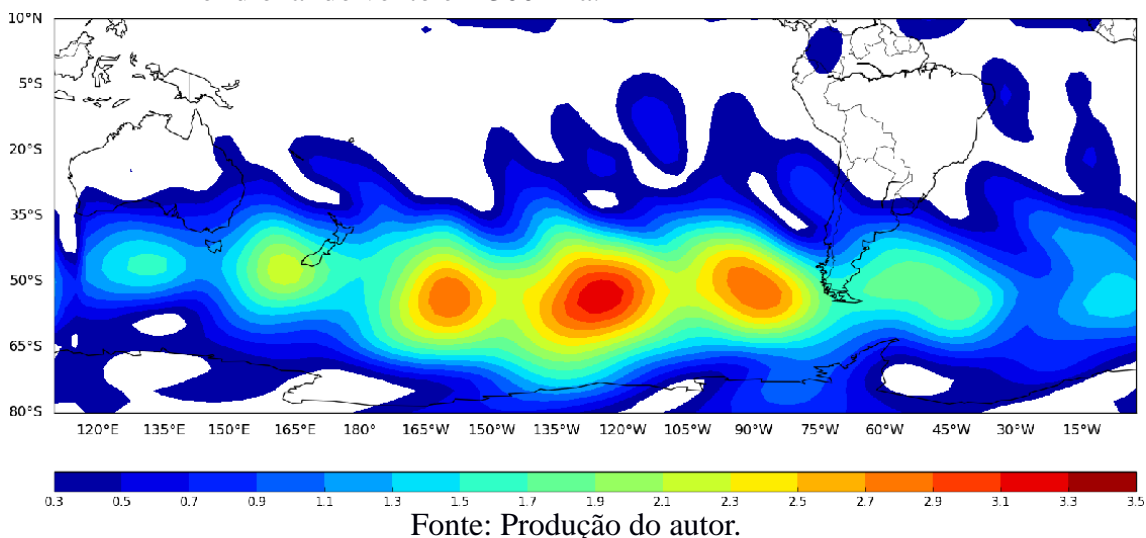


Fonte: Produção do autor.

5.2.2 Amplitude do modo dominante

A amplitude do modo dominante (ver seção 3.2.2) possibilita identificar onde o sinal é mais intenso, e consequentemente, identificar os processos físicos dominantes. Na Figura 5.4 são mostrados os modos dos padrões espaciais do v300/POP para o verão austral representado em termos de amplitude. Destaca-se no oceano Pacífico Sul próximo de 55°S, a presença de uma faixa com amplitudes altas, mas o sinal decai corrente abaixo no sul da América do Sul. Dentre os fatores que podem contribuir para essa característica incluem o desenvolvimento corrente abaixo principalmente no verão, uma vez que a instabilidade baroclínica é menor nessa estação, concentrando-se assim numa faixa latitudinal pequena (CHANG, 2000), e a gênese de cavados acentuados entre 150W e 80 W (PIVA ET AL., 2008).

Figura 5.4 - Amplitude do primeiro modo submensal do POP para a componente meridional do vento em 300 hPa.



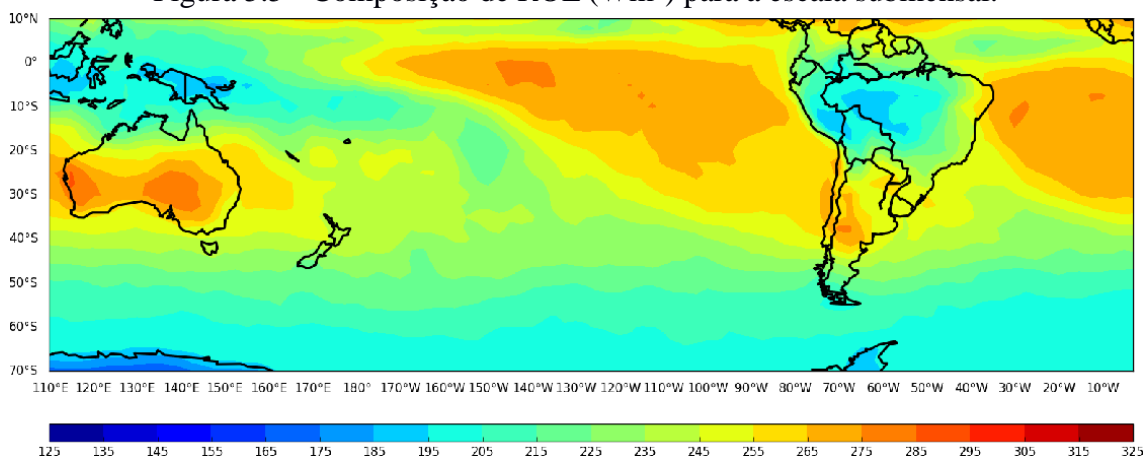
5.2.3 Compostos de ROL e do vento em altos e baixos níveis

Com o objetivo de caracterizar o comportamento do campo de ROL e vento médio em altos e baixos níveis, apresenta-se nesta seção uma análise da composição dessas variáveis durante o período do verão austral nos anos de 2006 a 2016. Inicialmente foram feitas análises de campos compostos utilizando as saídas do POP com a variável vento meridional em 300 hPa. Aplicou-se um percentil de 90%, obtendendo 89 casos significativos. Desta forma, analisaram-se os campos médios e anomalias do vento em baixos (850 hPa) e altos níveis (300 hPa) e ROL. Assim obteve-se o padrão do comportamento de ROL e do vento em baixos e altos níveis. Os campos de anomalias foram obtidos como a diferença com respeito à média correspondente ao período de 1979 a 2016.

No campo médio de ROL (Figura 5.5) observa-se um padrão similar ao campo médio de precipitação na AS, já que o maior volume de precipitação é convectiva e o campo de ROL é bem significativo. Observa-se na Bacia Amazônica convecção profunda, característica dominante neste período. Nas regiões Centro-oeste e Sudeste do Brasil, observam-se valores negativos de ROL, o que indica a posição média da ZCAS.

Pode-se observar (Figura 5.5) no oceano Atlântico Norte equatorial valores de OLR em torno de 195 Wm^2 a 225 Wm^2 , indicando a posição média da ZCIT em torno de 5°N - 5°S . No oceano Pacífico Oeste, observam-se valores positivos de ROL associada à atividade convectiva nesta região, onde normalmente as temperaturas oceânicas da superfície do mar são relativamente altas, e, também, na posição média da ZCPS. Por outro lado, nos oceanos Atlântico Sul e Pacífico Sul, observam-se valores positivos de ROL, o que indica inibição da atividade convectiva associados às altas subtropicais ASAS e ASPS.

Figura 5.5 - Composição de ROL (Wm^2) para a escala submensal.



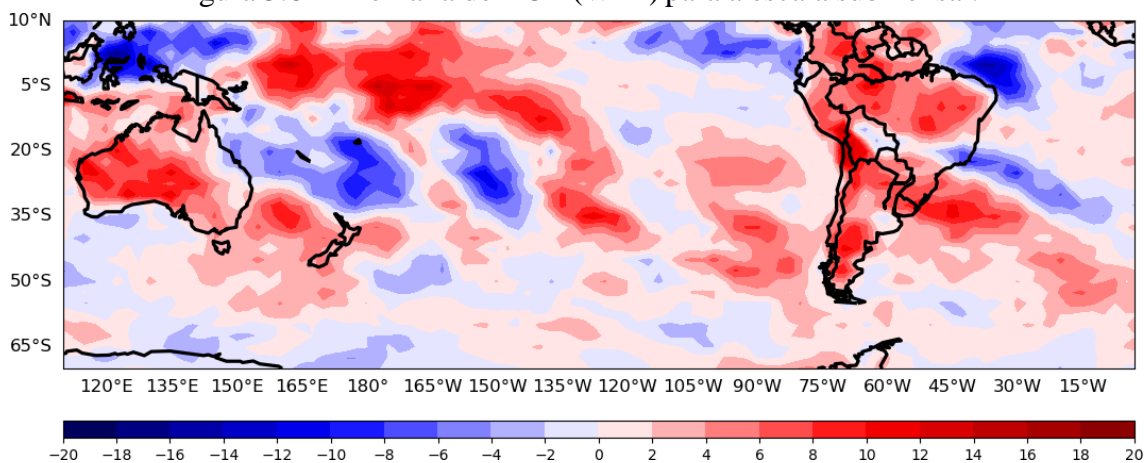
Fonte: Produção do autor.

Na Figura 5.6 é mostrada a composição da anomalia de ROL. Na América do Sul, destacam-se os valores negativos de ROL associados ao posicionamento médio da atividade convectiva mais intensa sobre a região Sudeste do Brasil, devido à atuação da ZCAS. Observa-se, também, um dipolo entre a região da ZCAS (mais precipitação – valores negativos de ROL) e sul do Brasil (menos precipitação – valores positivos de ROL). Este comportamento tem sido identificado como um padrão de gangorra norte-sul de precipitação entre a região de posicionamento médio da ZCAS e o sul do Brasil. A intensificação da convecção na ZCAS ocorre em associação com a fraca atividade convectiva no sul do Brasil, e vice-versa. Entretanto, quando se tem o padrão de gangorra mais definido, a intensificação (ou supressão) da convecção na ZCAS encontra-se mais deslocada para o oceano. O deslocamento da alta subtropical no

Atlântico Sul (ASAS) é considerado a principal característica para a manifestação da gangorra (GRIMM et al., 2000, NOGUÉS- PAEGLE; MO, 1997). Nogués-Paegle e Mo (1997) encontraram que o período entre uma fase e a outra no padrão de gangorra é de aproximadamente 10 dias, sendo a magnitude possivelmente associada a oscilações intrasazonais.

Nas demais regiões observam-se um padrão de ROL positivo (inibição da convecção) e negativo (convecção ativa) e sua propagação do oceano Pacífico Oeste para a AS. Na AS este padrão oscilatório apresenta propagação de sudoeste para nordeste.

Figura 5.6 - Anomalia de ROL (Wm^2) para a escala submensal.

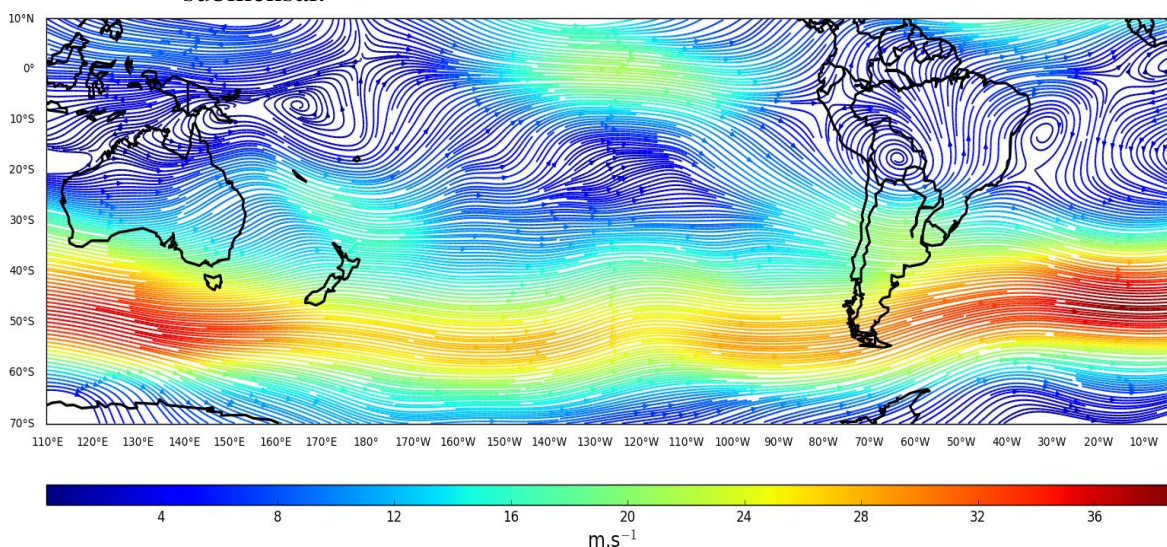


Fonte: Produção do autor.

A composição do vento em 300 hPa (Figura 5.7) associada ao modo dominante do v300/ POP caracteriza muito bem a circulação atmosférica nos trópicos. Observa-se que principalmente na AS esta circulação tem um caráter ondulatório bem definido. Neste contexto, destacam-se três características distintas do campo de vento: a) a circulação anticiclônica conhecida como AB, centrada em 17.5°S e 65°W, b) a circulação ciclônica (VCAN) localizada próxima da costa nordeste brasileira, um pouco deslocada ao sul da sua posição climatológica, onde se observa que os ventos estão mais fortes no norte do Nordeste o que poderia favorecer a intensificação das precipitações nesta região e c) a bifurcação inter-hemisférica do escoamento no Pacífico Equatorial Leste, próximo da costa do Peru. Essas características da circulação troposférica nos trópicos da AS atuam

como resposta da liberação de calor latente de condensação sobre a Amazônia e Brasil Central devido à forte atividade convectiva (SILVA DIAS et al, 1983). Deve-se também destacar o caráter ondulatório no Pacífico Oeste tipicamente caracterizado pela forte atividade convectiva associada à OMJ, o jato subtropical mais intenso e deslocado para o sul e o cinturão de ventos fortes principalmente ao sul da Austrália e Atlântico Sul.

Figura 5.7 - Composição do vento (linhas de correntes) em 300 hPa (ms^{-1}) para a escala submensal.



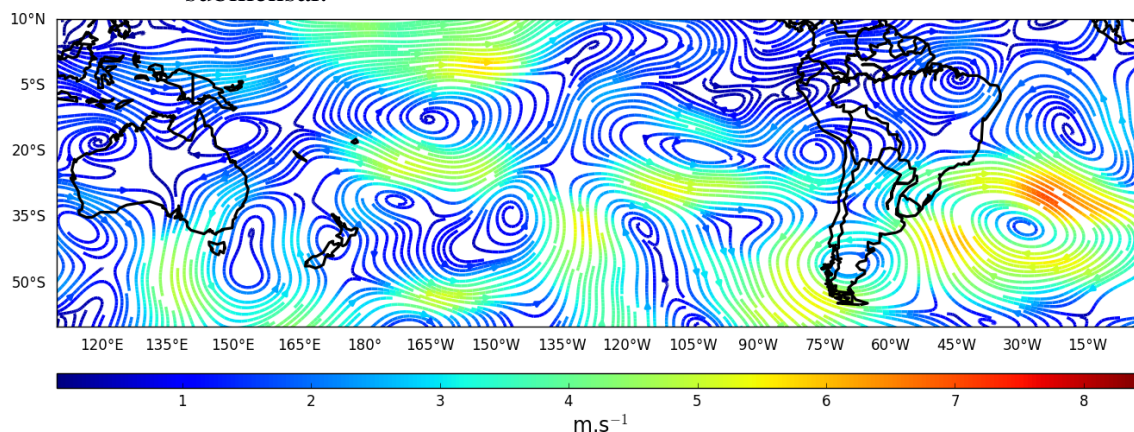
Fonte: Produção do autor.

O campo da anomalia do vento em 300 hPa associada ao modo dominante do v300/POP durante o verão é mostrada na Figura 5.8. Destacam-se algumas características observadas na AS na composição, no nordeste do Brasil, circulação ciclônica associada ao VCAN observado, também, no campo médio do vento (Figura 5.7) em 300 hPa. Também, destaca-se a circulação anticiclônica associada à AB que se estende para o Oceano Pacífico, observado, também, no campo médio do vento (Figura 5.7).

No oceano Pacífico Sul, destaca-se (Figura 5.8) um padrão ondulatório de alternância de regiões com centros ciclônicos e anticiclônicos oscilando entre 20°S e 60°S. Na evolução deste padrão, pode-se verificar a variação na amplitude dos máximos, indicando que existe propagação de energia entre os componentes dos trens de onda.

Observa-se que este padrão de trem de ondas apresenta propagação para AS, semelhante ao padrão do Pacífico –América do Sul (PSA). Este padrão de ondas são um dos mecanismos de teleconexão entre o Pacífico e a América do Sul que pode contribuir com as precipitações nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Este trem de ondas é a rota preferencial de dispersão de energia, e encontra-se ao longo do jato do Pacífico Sul e para as regiões subtropicais do Atlântico Sul (AMBRIZZI; HOSKINS, 1997). Assim, observa-se que os trens de ondas vistos no campo da anomalia coincidem com a propagação preferencial que é ao longo dos jatos polar e subtropical, observado no campo médio do vento (Figura 5.7). Resultados similares foram observados pelos autores Ambrizzi e Hoskins (1997). Também, resultados semelhantes, obtidos por Gonzales et al. (2013), mostraram que os trens de ondas apresentam maiores velocidades de propagação quando comparadas a escala intrassazonal 30-90 dias. Os autores ainda observaram que na escala submensal, a atividade convectiva na região Sudeste da América do Sul parece estar ligada a trens de ondas, mas que têm fontes subtropicais e podem estar relacionados a mudanças nas propriedades do jato oeste. Além disso, observa-se um padrão interhemisferico na região tropical da AS, a oeste da Amazonia.

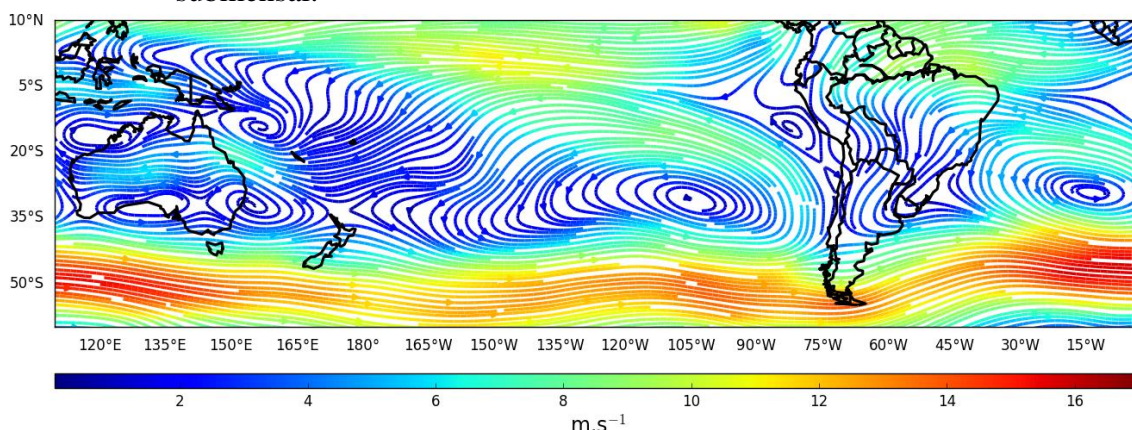
Figura 5.8 – Anomalia do vento (linhas de correntes) em 300 hPa (ms^{-1}) para a escala submensal.



Fonte: Produção do autor.

Na composição do vento em 850 hPa (Figura 5.9) associada ao modo dominante do v300/POP observa-se as altas subtropicais do Pacífico Sul e do Atlântico Sul, bem como a circulação de baixos níveis, associado ao vento máximo (CLEBER et al., 2007) que transporta calor e umidade dos trópicos para os subtrópicos. Além disso, em latitudes médias, destaca-se a presença dos sistemas transientes ao sul do AS, em torno de 50°S.

Figura 5.9 - Composição do vento (linhas de correntes) em 850 hPa (ms^{-1}) para a escala submensal.



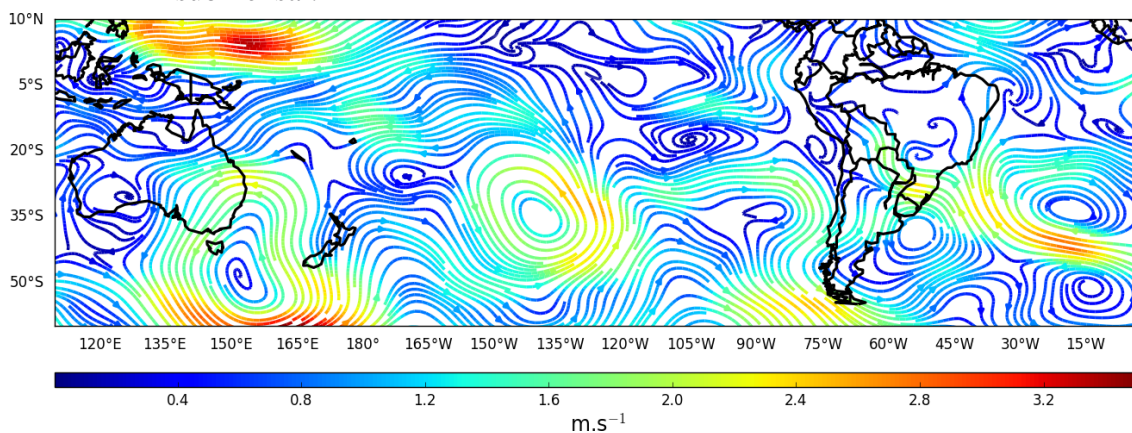
Fonte: Produção do autor.

Na Figura 5.10 é mostrada a anomalia do vento em 850 hPa associada ao modo dominante do v300/POP, o qual é similar ao padrão espacial do vento em 300 hPa. Foram observadas características no campo anômalo no continente sul-americano e nos oceanos adjacentes. Na América do Sul, observa-se uma alta pós-frontal anômala na região do Rio Grande do Sul. Também, a combinação da forte anomalia ciclônica sobre o oceano e anticiclônica sobre o sul do Brasil (Bacia da Plata) seria favorável para a passagem rápida de frentes frias com características mais oceânicas (sem grande penetração no continente), o que poderia causar certa falta de precipitação nessa região, inclusive em parte das regiões Centro-oeste e Norte do Brasil. Observou-se a presença dos ventos vindos de sul na região Sudeste, associada à eventos de NZCAS (Nao – ZCAS). Nos oceanos Pacífico e Atlântico observam-se (Figura 5.10) grandes anomalias ciclônicas e anticiclônicas de onda longa.

Pela análise da Figura 5.8 observou-se trem de ondas no oceano Pacífico Oeste e Sul que estão associadas à NZCAS (Figura 5.10). Este padrão de ondas associada a ZCAS também foi observado por Drummond et al. (2008), em que os autores investigaram três modos de variabilidade de baixa frequência da TSM dos oceanos Índico e Pacífico. O segundo modo de variabilidade, sobre o oeste do Pacífico, está associado a condições de seca sobre a ZCAS, aumento da precipitação sobre os subtropicais e com um padrão de trem de ondas tipo PSA. O terceiro modo, sobre o sudoeste do Pacífico Sul, associa-se com aumento da precipitação sobre a ZCAS, condições de seca sobre os subtropicais e propagação de um trem de ondas tipo PSA.

Observou-se que os trens de ondas (Figura 5.8) têm propagação desde a região da ZCPS em direção à região Sudeste do Brasil e Nordeste até o Atlântico tropical. Resultados similares foram encontrados por Figueiroa (1995), que mostrou a mesma direção de propagação e, também, um período médio de 21 dias. O autor observou-se características sobre a intensificação da precipitação na região Sul do Brasil associado com a intensificação da ZCPS e a intensificação da ZCAS associada com a propagação de um trem de ondas desde o Pacífico através das latitudes médias. Existem evidências que esta intensificação da ZCAS pode estar relacionada com a desintensificação da ZPCZ. Outros estudos (VAN DER WIEL et al, 2015) observaram que tanto a ZCPS e a ZCAS na escala de submensal estão associadas com a atividade de ondas de Rossby e que este trem de ondas podem desencadear diretamente a convecção sobre as regiões de ambas as zonas de convergência.

Figura 5.10 – Anomalia do vento (linhas de correntes) em 850 hPa (ms^{-1}) para a escala submensal.



Fonte: Produção do autor.

Pela análise das anomalias do vento em baixos (Figura 5.10) e altos níveis (Figura 5.8), nas regiões Sul e Sudeste observam-se estrutura quase barotrópica, ou seja, com os centros de ação apresentando a mesma fase ao longo de toda a troposfera. Nestas regiões, em uma atmosfera barotrópica, centros ciclônicos e anticiclônicos mantêm a mesma estrutura em toda sua profundidade. Durante este processo a energia cinética da perturbação aumenta recebendo a energia cinética do escoamento básico (HOLTON, 2004). No capítulo 6 da energética, vai ser analisado o processo de conversão barotrópica da energia cinética, a modo de complementar estes resultados aqui discutidos.

5.3 Análises da escala intrassazonal

Nesta seção, apresenta-se a análise para a escala intrassazonal semelhante ao que foi apresentado anteriormente para a escala submensal. Inicialmente apresenta-se uma análise estatística a fim de identificar os modos dominantes do POP, o que inclui a variância explicada, período e o tempo de decaimento das oscilações. Posteriormente, mostra-se a análise do padrão espacial para a componente meridional do vento em 300 hPa (v_{300}) utilizando o mesmo período mostrado na escala submensal. Analisaram-se, também, as composições e anomalias dos campos de ROL e de vento em baixos (850 hPa) e altos níveis (300 hPa). A variabilidade intrassazonal é apresentada a fim de comparar os resultados com a escala submensal, pois as escalas diferem tanto na

intensidade quanto na localização geográfica, evidenciando os ciclos dominantes da atividade convectiva na região do estudo.

A Tabela 5.2 apresenta a síntese dos resultados estatísticos obtidos com a aplicação do POP na série de dados de v300 filtrada na escala de 30-60 dias, para o período de 2006-2016. Os modos do v300/POP encontrados têm períodos que variam de 43 a 92 dias (coluna 2) e um tempo de decaimento médio menor que 131 dias (coluna 1). O tempo de decaimento de um modo é o tempo que a amplitude de uma sequência de padrões leva até decair exponencialmente. Dessa forma, o tempo de decaimento dos modos pode ser interpretado como o tempo em que o sinal ainda é observado antes que o ruído se torne predominante.

No caso da variabilidade intrassazonal, na Tabela 5.2, é mostrada uma análise estatística de 4 modos para a escala de 30-60 dias. Observa-se que os modos mais significativo, o modo 1 e 2, apresentam um tempo de decaimento de 131,52 e 131.57 dias e um período de oscilação de 43,59 e 53,08 dias, respectivamente. Nas próximas análises, foram descritos o primeiro e o segundo modo do v300/POP por representarem a maior parte da variância explicada como mostra a Tabela 5.2, no qual representa a maior parte da variabilidade da atividade convectiva (19,5 e 18,6%, respectivamente) (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Parâmetros estatísticos do POP para a escala intrassazonal.

Modos de POP	Tempo de decaimento	Período da Oscilação	Variância Explicada	Variância Explicada Acumulativa
1Real(R)	131.52	43.59	0.195	0.195
Imaginária(I)	131.52	43.59		
2R	131.57	53.08	0.186	0.371
I	131.57	53.08		
3R	72.99	61.29	0.137	0.518
I	72.99	61.29		
4R	43.43	92.64	0.086	0.612
I	43.43	92.64		

Fonte: Produção do autor.

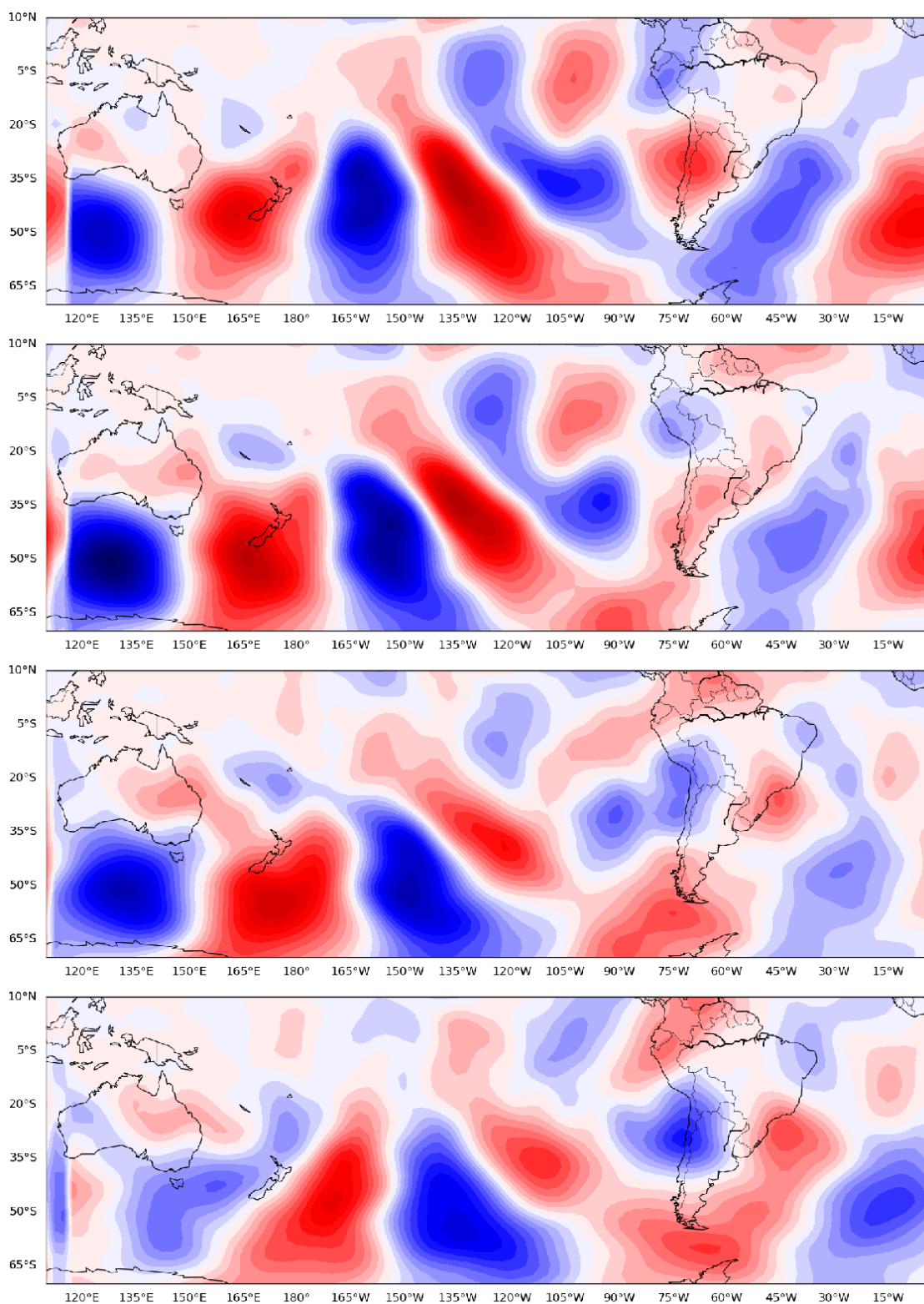
5.3.1 Padrão espacial do modo dominante do POP da componente meridional do vento em 300 hPa

A evolução espacial do ciclo do primeiro modo de POP para a variabilidade intrassazonal é mostrada na Figura 5.11 em 8 ciclos ou fases como mostrado anteriormente na escala submensal. Entre uma fase e outra, o período é de aproximadamente 5 dias. Em geral, observa-se no oceano Pacífico Leste e Sul a presença de um padrão oscilatório de ondas com anomalias positivas (ciclônica do vento meridional) e negativas (anticiclônica do vento meridional). Este padrão espacial de trem de ondas apresenta propagação para as regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. Na região do Nordeste do Brasil, estudos mostram que na escala intrassazonal, a OMJ é uma importante fonte de variabilidade nos trópicos (MADDEN; JULIAN, 1972; ZHANG, 2013) e que sua propagação têm grande influência na América do Sul (CARVALHO et al., 2002, 2004; NOGUÉS-PAEGLE et al., 2000). A OMJ influencia na convecção e precipitação sobre a América do Sul tropical, incluindo Nordeste do Brasil. Segundo Kayano e Kousky (1994), a partir de uma análise da variação sazonal da OMJ mostraram que a oscilação tem maior impacto na convecção sobre Nordeste do Brasil durante novembro a março. Carvalho et al (2004) observaram a influência do OMJ em eventos de precipitação extrema sobre o Brasil durante o período de dezembro a fevereiro. Os eventos de precipitação intensa, a partir do percentil de 95% da precipitação diária, aumentaram (diminuíram) no Nordeste do Brasil durante a fase OMJ caracterizada por convecção intensificada (suprimida) no Pacífico central e supressão (intensificação) de convecção sobre a Indonésia.

Considerando-se as condições favoráveis (anomalias negativas ou presença de cavado) ou desfavoráveis (anomalias positivas ou presença de crista) para o estabelecimento de atividade convectiva na região Sudeste e Nordeste do Brasil durante o período chuvoso, tipicamente dominado pela ZCAS e OMJ na evolução das 8 fases do v300/POP (Figura 5.11) revela as seguintes características:

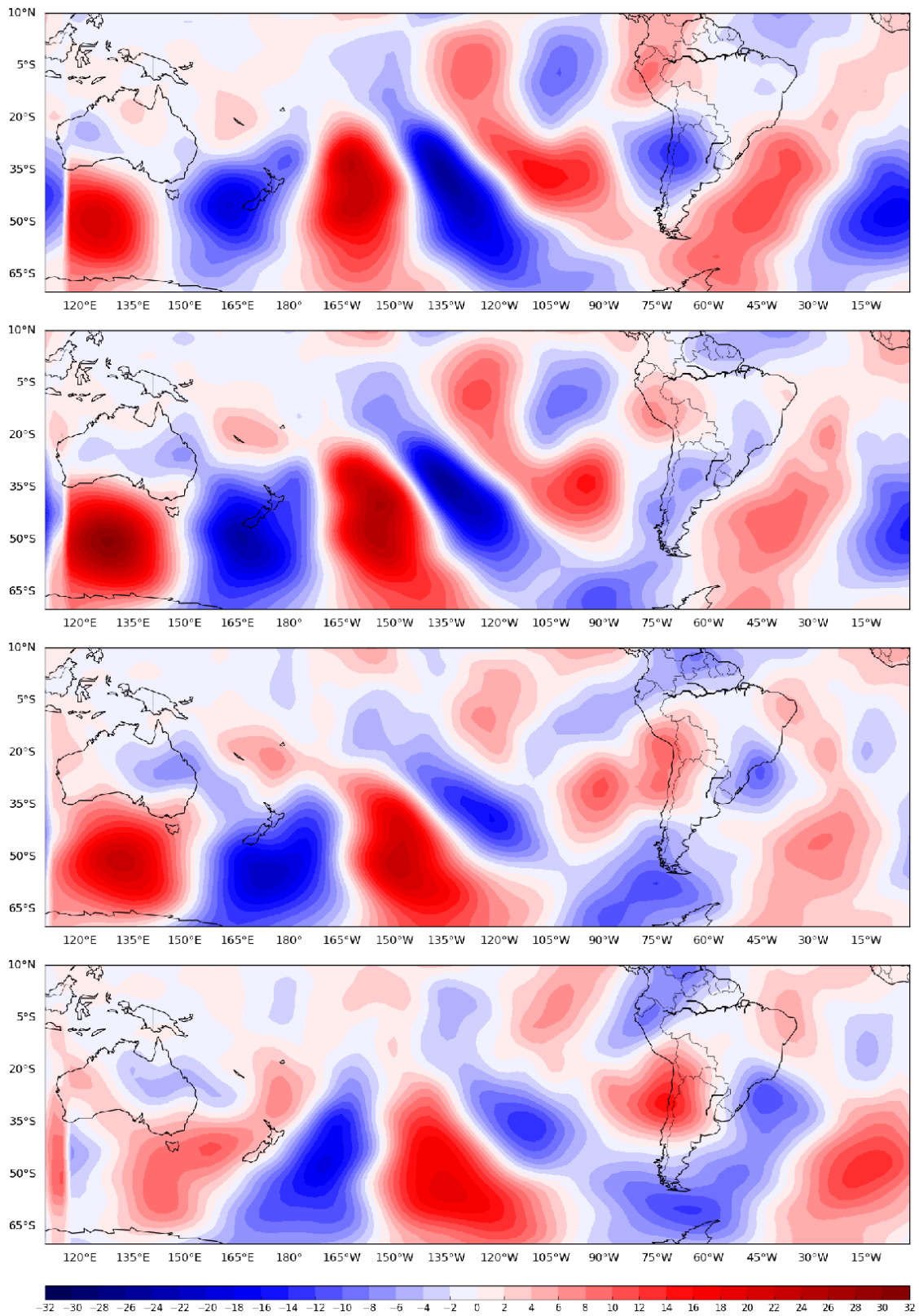
- a) Fases favoráveis (6 a 8), nesse período destacam-se a presença de um trem de ondas em latitudes médias do Pacífico Sul, anomalias positivas atingindo parte do Sudeste do Brasil e uma ampla anomalia anticiclônica no Pacífico Sudeste/Chile na fase 8. Nesta fase observa-se que tanto anomalia anticiclônica, quanto a anomalia ciclônica observada na região Sudeste intensificam, indicando que na região Sudeste há intensificação da convecção. Por outro lado, na região Nordeste do Brasil observam-se anomalias positivas, associadas à presença de crista, o que inibe a formação de nuvens. Essa característica pode estar associada a fase inativa da OMJ.
- b) Fases desfavoráveis (3 a 5), esse período também é caracterizado por trens de ondas deslocando-se para leste do Pacífico Sul, mas com ampla anomalia negativa no Pacífico Sudeste na fase 5, oposto ao observado na fase 8. Na região sudeste do Brasil, observa-se anomalias positivas, associadas a circulações anticiclônicas, o que indica inibição da formação de nuvens na região. Por outro lado, na região Nordeste observa-se anomalias negativas, associadas a circulações ciclônicas, indicando formação de nuvens nesta região.
- c) Fases de transição (1 e 2), esse período também se caracteriza por um trem de ondas que se desloca do Pacífico Sul para América do Sul. Assim como foi observado nas fases 5 e 6, ocorre o mesmo padrão, porém de forma oposta, onde se observam anomalias positivas (negativas) agora se observam anomalias negativas (positivas).

Figura 5.11 - Evolução espacial do primeiro modo do POP para o vento meridional em 300 hPa na escala intrassazonal (30-60 dias).



continua

Figura 5.11 – Conclusão.



Fonte: Produção do autor.

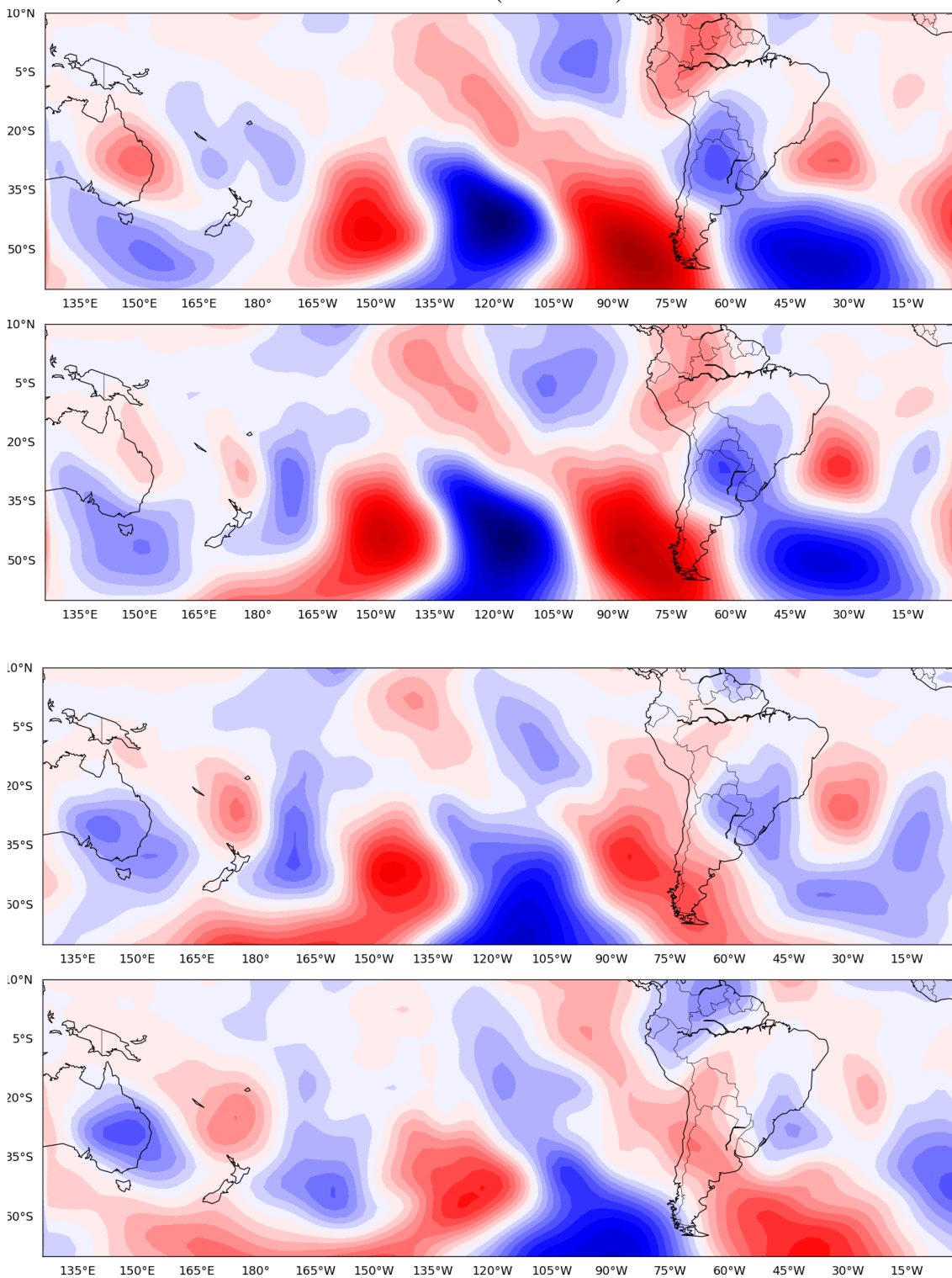
A evolução espacial do ciclo do segundo modo de POP para a variabilidade intrassazonal é mostrada na Figura 5.12 em 8 ciclos ou fases. Em geral, observa-se no oceano Pacífico Leste e Sul a presença de um padrão oscilatório de ondas com anomalias positivas (anticiclônica do vento meridional) e negativas (ciclônica do vento meridional). Este padrão espacial de trem de ondas apresenta propagação para as regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. Na região do Nordeste do Brasil, estudos mostram que na escala intrassazonal, a OMJ é uma importante fonte de variabilidade nos trópicos (MADDEN; JULIAN, 1972 ; ZHANG, 2013) e que sua propagação têm grande influência na América do Sul (CARVALHO et al., 2002, 2004; NOGUÉS-PAEGLE et al., 2000). A OMJ influencia na convecção e precipitação sobre a América do Sul tropical, incluindo Nordeste do Brasil. Segundo Kayano e Kousky (1994), a partir de uma análise da variação sazonal da OMJ mostraram que a oscilação tem maior impacto na convecção sobre Nordeste do Brasil durante novembro a março. Carvalho et al (2004) observaram a influência do OMJ em eventos de precipitação extrema sobre o Brasil durante o período de dezembro a fevereiro. Os eventos de precipitação intensa, a partir do percentil de 95% da precipitação diária, aumentaram (diminuíram) no Nordeste do Brasil durante a fase OMJ caracterizada por convecção intensificada (suprimida) no Pacífico central e supressão (intensificação) de convecção sobre a Indonésia.

Considerando-se as condições favoráveis (anomalias negativas ou presença de cavado) ou desfavoráveis (anomalias positivas ou presença de crista) para o estabelecimento de atividade convectiva na região Sudeste e Nordeste do Brasil durante o período chuvoso, tipicamente dominado pela ZCAS e OMJ na evolução das 8 fases do v300/POP (Figura 5.12) revela as seguintes características:

- a) Fases favoráveis (3 a 5), nesse período destacam-se a presença de um trem de ondas em latitudes médias do Pacífico Sul, anomalias negativas atingindo parte do Sudeste do Brasil e uma ampla anomalia anticiclônica no Pacífico Sudeste/Chile nas fases 4 e 5. Por outro lado, na região leste do Nordeste do Brasil observam-se anomalias positivas, associadas à presença de crista, o que inibe a formação de nuvens.

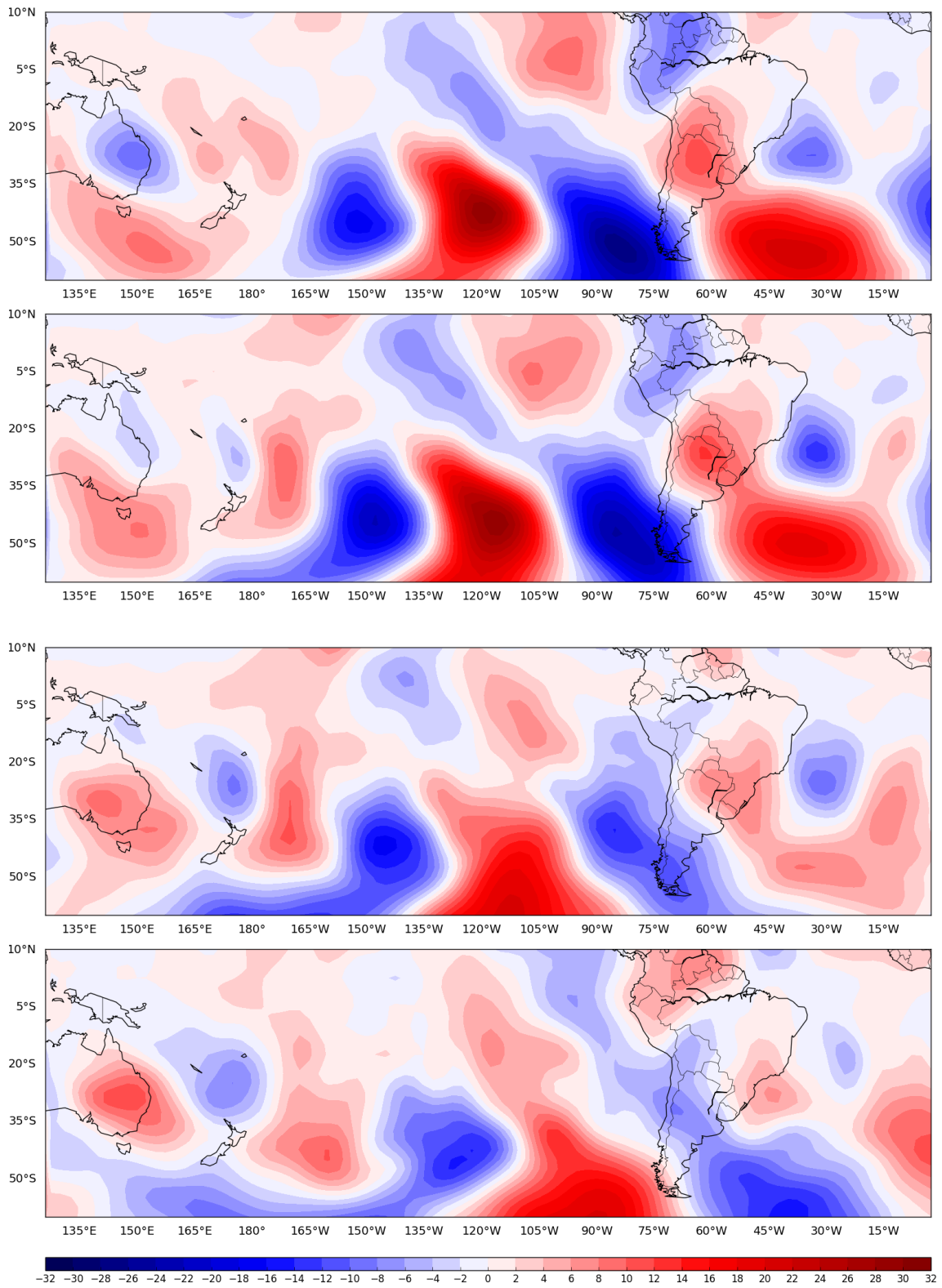
- b) Fases desfavoráveis (6 a 8), esse período também é caracterizado por trens de ondas deslocando-se para leste do Pacífico Sul, mas com ampla anomalia negativa no Pacífico Sudeste na fase 6, oposto ao observado na fase 1. Na região sudeste do Brasil, observa-se anomalias positivas, associadas a circulações anticiclônicas, o que indica inibição da formação de nuvens na região. Por outro lado, na região Nordeste observa-se anomalias negativas, associadas a circulações ciclônicas, indicando formação de nuvens nesta região.
- c) Fases de transição (1 e 2), esse período também se caracteriza por um trem de ondas que se desloca do Pacífico Sul para América do Sul. Assim como foi observado nas fases 5 e 6, ocorre o mesmo padrão, porém de forma oposta, onde se observam anomalias positivas (negativas) agora se observam anomalias negativas (positivas).

Figura 5.12 - Evolução espacial do segundo modo do POP para o vento meridional em 300 hPa na escala intrassazonal (30-60 dias).



continua

Figura 5.12 – Conclusão.

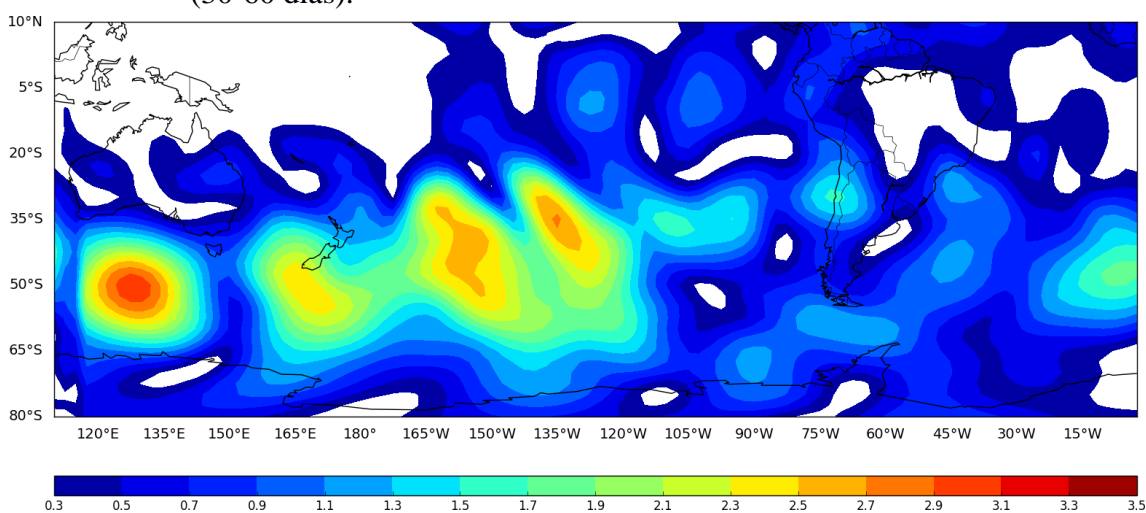


Fonte: Produção do autor.

5.3.2 Amplitude do modo dominante

Os modos dos padrões do POP também podem ser representados em termos de amplitude (ver seção 3.2.2). Desta forma, é possível analisar o padrão espacial das regiões em que o sinal apresenta-se mais intensa. A Figura 5.13 mostra o padrão espacial da amplitude do POP para o primeiro modo. Observa-se que o sinal desta escala é mais importante na região do Pacífico Sul e Atlântico Sul onde nota-se a máxima amplitude do POP. Na América do Sul, observou-se que o sinal é mais intenso nas regiões Sul, Centro-oeste, Sudeste e Nordeste do Brasil.

Figura 5.13 - Amplitude do primeiro modo do POP para v300 na escala intrassazonal (30-60 dias).



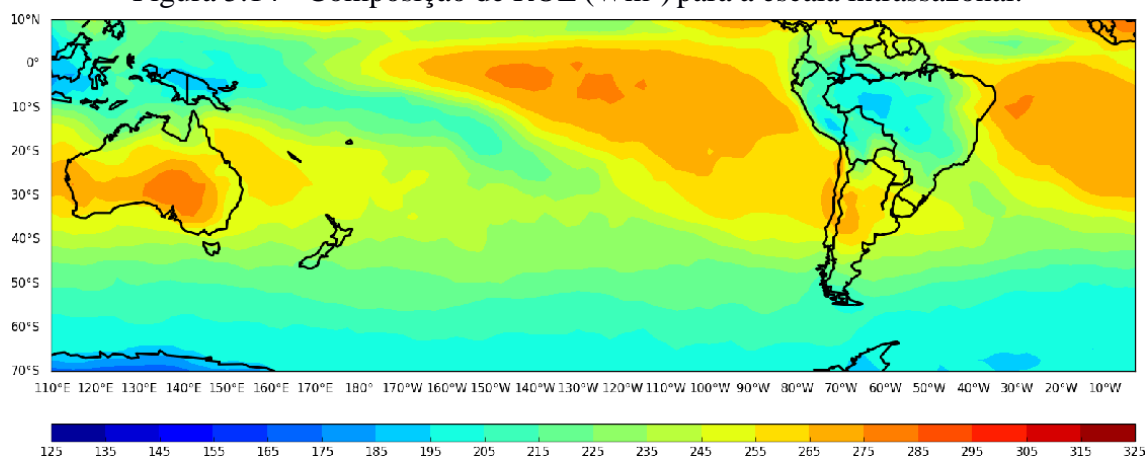
Fonte: Produção do autor.

5.3.3 Compostos de ROL e do vento em altos e baixos níveis

Para análises das composições do vento utilizando as saídas do POP com a variável vento meridional em 300 hPa, observou-se que para um percentil de 90%, obteve-se 89 casos significativos. Desta forma, analisaram-se os campos médios e as anomalias de ROL e vento em baixos e altos níveis.

Na Figura 5.14 é mostrado o campo médio de ROL em que se observou um padrão similar ao campo médio de precipitação na AS (FERREIRA ET AL., 2011), já que o maior volume de precipitação é convectiva na Amazônia e nas regiões Centro-oeste e Sudeste do Brasil, indicando convecção ativa (ROL negativo) associada à presença da ZCAS. Também se observou ROL positivo, associado às altas subtropicais (ASAS e ASPS). No Pacífico observou-se ROL negativo associado à ZCPS e ROL positivo na Austrália.

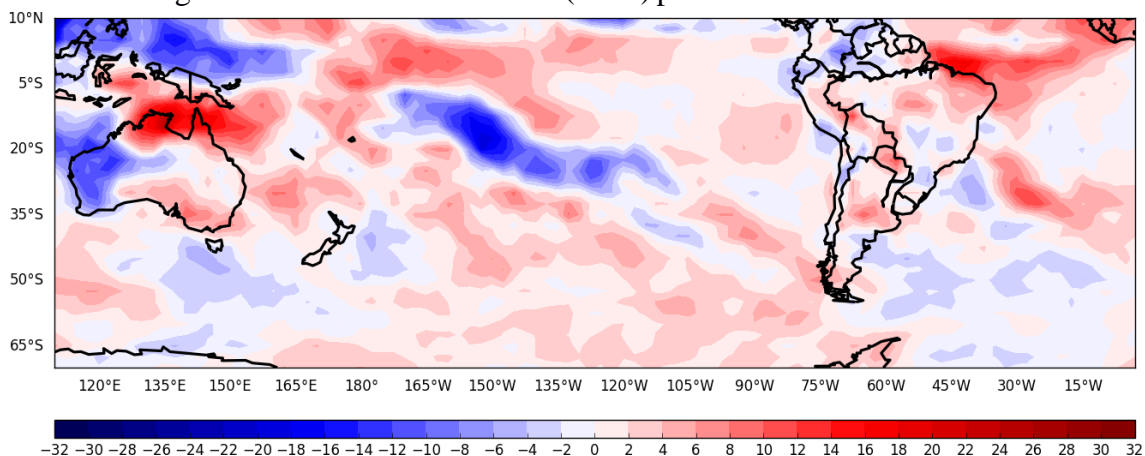
Figura 5.14 - Composição de ROL (Wm^2) para a escala intrassazonal.



Fonte: Produção do autor.

Na Figura 5.15 é mostrado o campo da anomalia de ROL, observa-se o posicionamento médio da precipitação mais intensa que parece estar na região Sudeste do Brasil, indicando a presença da ZCAS. Destaca-se, também, a presença de um dipolo na Austrália o que pode indicar a presença da OMJ.

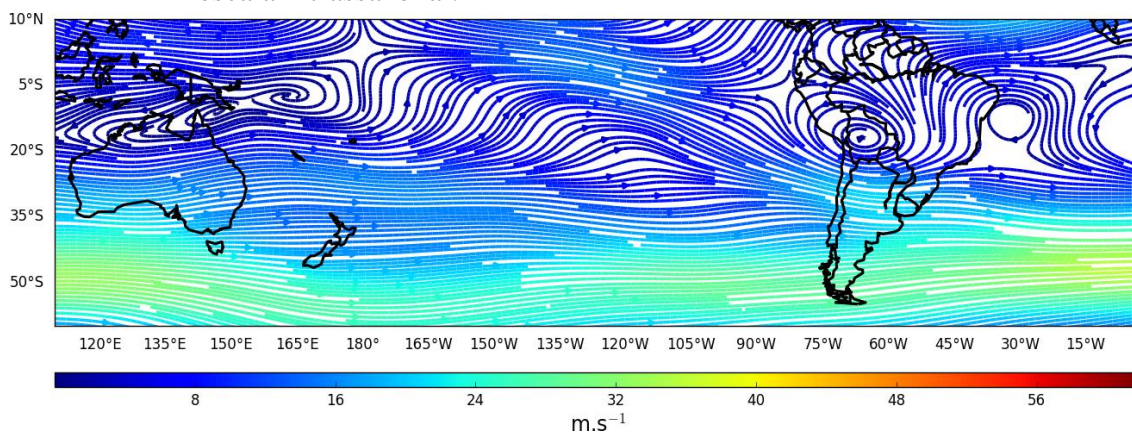
Figura 5.15 - Anomalia de ROL (Wm^2) para a escala intrassazonal.



Fonte: Produção do autor.

A composição e anomalia do vento em 300 hPa associada ao modo dominante do v300/POP são apresentadas na Figura 5.16 e 5.17. Semelhante ao que foi observada na escala submensal, a circulação atmosférica nos trópicos é bem caracterizada, onde os sistemas atmosféricos de verão da AS estão presentes na média. Neste contexto, observa-se a AB um pouco deslocada para sudoeste e o VCAN um pouco ao sul da sua posição climatológica. No oceano Atlântico e Pacífico, observou-se que o jato subtropical (JST) e o jato polar (JP) estão menos intensos do que foi observado no campo médio da escala submensal (Figura 5.7). Como foi observado na escala de 10-30 dias, o JST está deslocado mais para o sul e o JP através do máximo de vento no Atlântico Sul, por volta de 55°S.

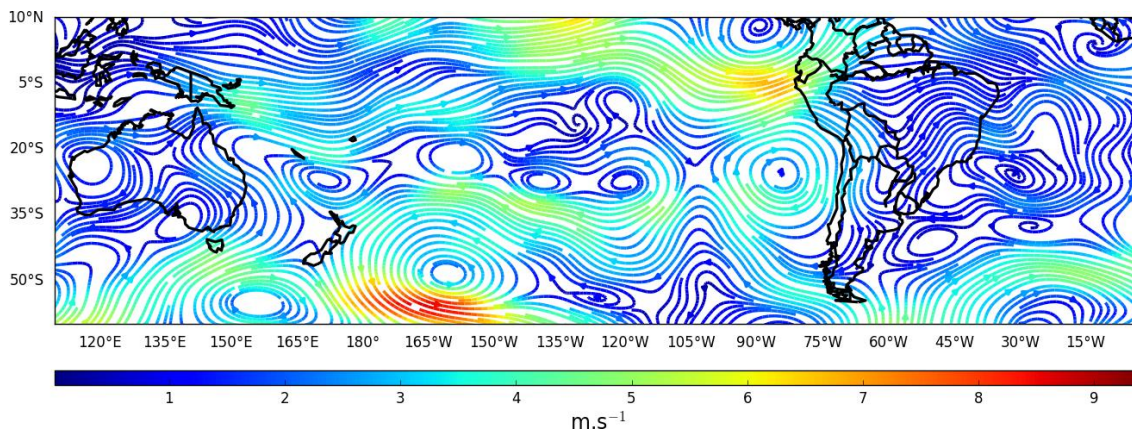
Figura 5.16 - Composição do vento (linhas de correntes) em 300 hPa (ms^{-1}) para a escala intrassazonal.



Fonte: Produção do autor.

Na anomalia do vento em 300 hPa mostrada na Figura 5.17, observa-se um cavado aproximadamente em 45°W e uma crista anômala sobre o Atlântico. Essas características observadas no campo de anomalia são situações de inibição de precipitações a oeste do cavado e favorável a leste. Observou-se, também, que o jato aparece mais sobre o norte da Argentina e mais curvado ciclonicamente.

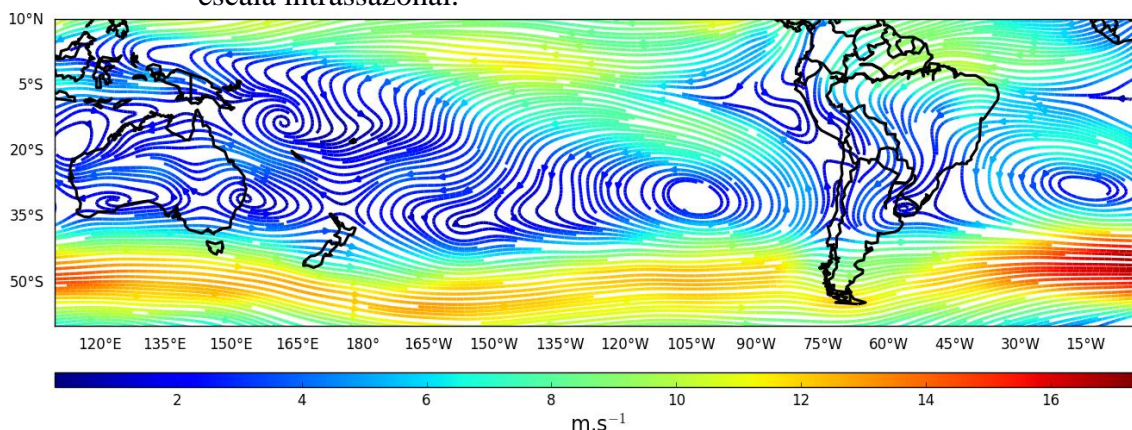
Figura 5.17 - Anomalia do vento (linhas de correntes) em 300 hPa (ms^{-1}) para a escala intrassazonal.



Fonte: Produção do autor.

No campo médio do vento no nível de 850 hPa (Figura 5.18) observam-se as Altas Subtropicais do Pacífico Sul e do Atlântico Sul, bem como a circulação de baixos níveis, associado ao JBN que transporta calor e umidade dos trópicos para os subtrópicos.

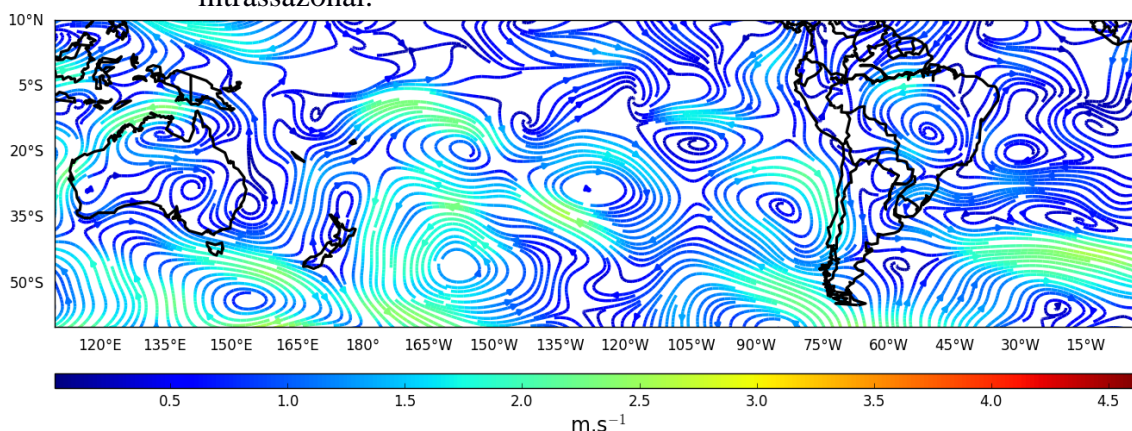
Figura 5.18 - Composição do vento (linhas de correntes) em 850 hPa (ms^{-1}) para a escala intrassazonal.



Fonte: Produção do autor.

A anomalia do vento em 850 hPa é apresentada na Figura 5.19. As características observadas mostram que a ASPS mais afastada e intensa e a ASAS mais intensa e deslocada para o sul. Também, destaca-se grande anomalia anticiclônica entre as Altas, o que resulta anomalias de norte ou noroeste na maior parte do Brasil, provavelmente com maior atividade do JBN. Na figura 5.18 nota-se maior convergência na região da ZCAS o que pode significar maior intensidade ou frequência das ZCAS. Se ainda houver uma conexão com altas barotrópicas (de tipo bloqueio) no Atlântico pode tornar as ZCAS mais duradouras.

Figura 5.19 – Anomalia do vento (linhas de correntes) em 850 hPa (ms^{-1}) para a escala intrassazonal.



Fonte: Produção do autor.

5.4 Discussões dos resultados

Neste capítulo foram analisadas as principais características espaço temporal do vento meridional na alta troposfera a fim de identificar os modos dominantes da atividade convectiva nas escalas submensal e intrassazonal a partir da análise do POP. Os resultados encontrados para a análise temporal nas escalas submensal e intrassazonal mostram que os modos mais significativos observado foi o primeiro e o segundo modo do POP. Na escala submensal, o primeiro e o segundo modo apresentam um tempo de decaimento de 43,01 e 32,10 dias e um período de oscilação de 17,77 e 19,15 dias, respectivamente. A variância observada para o primeiro modo foi de 17,7% e o segundo de 14,9%, respectivamente e, estes modos, representam a maior parte da variância total dos modos do POP.

Observa-se que os modos mais significativo, o modo 1 e 2, apresentam um tempo de decaimento de 131,52 e 131,57 dias e um período de oscilação de 43,59 e 53,08 dias, respectivamente.

Por outro lado, na escala intrassazonal, o tempo de decaimento observado para o primeiro e o segundo modo foram de 131,52 e 131,57 dias e o período da oscilação de

43,59 dias e 53,08 dias, respectivamente. Os modos mais significativo apresentaram uma variância de 19,5% a 18,6% da variância total dos modos do POP. A partir da análise temporal, pode-se concluir que ambas as escalas submensal e intrassazonal apresentam o tempo de decaimento dos modos menor que seu período, o que indica que as oscilações permanecem durante a metade desse período (43,01 dias e 43,59 dias, respectivamente) antes de serem amortecidas.

Pela análise da evolução espacial do ciclo do primeiro e o segundo modo de POP para as escalas submensal e intrassazonal mostraram a presença de um padrão oscilatório de ondas com anomalias positivas (ciclônica do vento meridional ou presença de crista) e negativas (anticiclônica do vento meridional ou presença de cavado). No caso da escala submensal, a propagação deste trem de ondas mostra influência nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, o que pode estar associada à ZCAS intensificada (suprimida) com falta (excesso) de precipitação sobre o Sul do Brasil, Uruguai, nordeste da Argentina. Por outro lado, na escala intrassazonal, o padrão de ondas têm propagação para as regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil. Na região Nordeste do Brasil, observa-se a influência da OMJ, a qual é uma importante fonte de variabilidade nos trópicos e sua propagação têm influência na convecção e precipitação sobre a região.

As análises da caracterização do comportamento do campo de ROL e vento médio em altos e baixos níveis mostraram características semelhantes nas escalas submensal e intrassazonal, porém com diferenças na posição geográfica e intensidade dos sistemas. Na escala submensal, a composição de ROL mostra convecção profunda na Bacia Amazônica, característica dominante neste período. Também, nas regiões Centro-oeste e Sudeste observaram-se valores negativos de OLR, o que indica a posição média da ZCAS e no oceano Atlântico Norte equatorial, valores negativos de OLR indicando a posição média da ZCIT. Na anomalia de ROL observou-se o posicionamento médio da precipitação mais intensa sobre o sudeste do Brasil, associada à presença da ZCAS. Observou-se, também, um dipolo entre a região da ZCAS (mais precipitação) e sul do Brasil (menos precipitação). Este comportamento tem sido identificado como um padrão de gangorra norte-sul de precipitação entre a região de posicionamento médio da

ZCAS e o sul do Brasil. A intensificação da convecção na ZCAS ocorre em associação com a fraca atividade convectiva no sul do Brasil, e vice-versa. No campo médio da circulação em baixos e altos níveis observaram-se características distintas como a AB, o VCAN e a bifurcação inter-hemisférica do escoamento no Pacífico Equatorial Leste, próximo da costa do Peru. Deve-se também destacar o caráter ondulatório no Pacífico Oeste caracterizado pela forte atividade convectiva associada à OMJ, o jato subtropical mais intenso e deslocado para o sul e o cinturão de ventos fortes principalmente ao sul da Austrália e Atlântico Sul. No campo de anomalia do vento em altos níveis, na AS, observaram-se características como a circulação ciclônica associada ao VCAN e circulação anticiclônica associada à AB e no oceano Pacífico Sul observou-se um trem de ondas entre 20°S e 60°S. Na evolução do padrão ondulatório, pode-se verificar a variação na amplitude dos máximos, indicando que existe propagação de energia entre os componentes dos trens de onda. Por outro lado, em baixos níveis observaram-se a alta pós-frontal anômala na região do RS, grandes anomalias ciclônicas e anticiclônicas de onda longa nos oceanos Pacífico e Atlântico e convergência dos ventos associados à ZCAS.

Por outro lado, na escala intrassazonal, a composição de ROL mostra valores negativos de ROL, associado ao posicionamento médio da precipitação mais intensa na região Sudeste do Brasil, indicando a presença da ZCAS e, também, a presença de um dipolo na Austrália o que pode indicar a presença da OMJ. No campo médio da circulação atmosférica em baixos e altos níveis observa-se padrão semelhante à escala submensal, porém a velocidade do vento mostra valores menos intensos quando comparada a escala submensal. No campo da anomalia do vento em altos níveis, destaca-se um cavado aproximadamente em 70°W e uma crista anômala sobre o Atlântico, que são situações de inibição de precipitações a oeste do cavado e favorável a leste. Por outro lado, em baixos níveis observaram-se as altas ASPs e ASAS mais intensas, grande anomalia ciclônica entre as Altas, o que resulta anomalias de norte ou noroeste na maior parte do Brasil, provavelmente com maior atividade do JBN e maior convergência na região da ZCAS o que pode significar maior intensidade ou frequência das ZCAS.

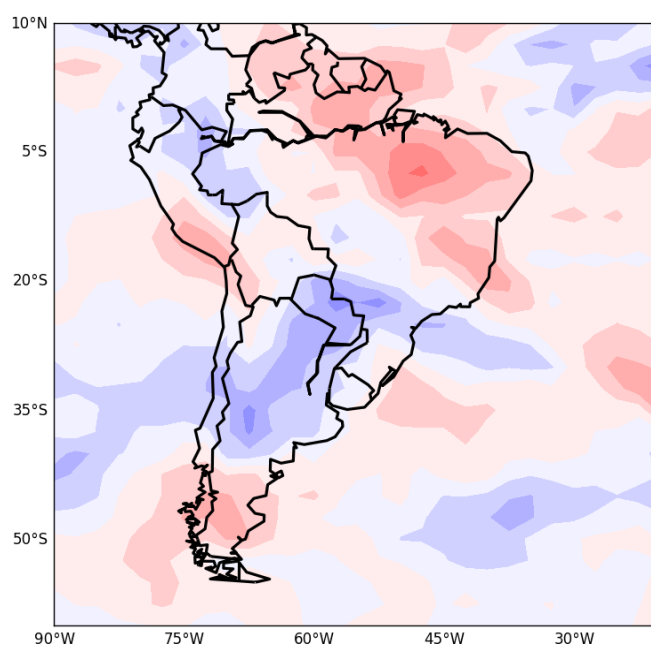
6 ANÁLISES DO BALANÇO DE ENERGIA CINÉTICA

A análise do Balanço de Energia Cinética (BEC) a ser apresentada a seguir, possibilita avaliar dinamicamente diversos processos físicos tais como conversões baroclínica e barotrópica, que são críticos para a compreensão do desenvolvimento e evolução dos sistemas de tempo. Desta forma, espera-se a seguir diagnosticar a ocorrência de possíveis interações de escalas envolvendo os sistemas de tempo que atuam no sudeste do Brasil e avaliar os processos físicos associados. Durante o verão austral, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, há evidências de que ocorre interação de escalas envolvendo os diversos sistemas de tempo presente. Durante este período do ano, em grande escala, destaca-se a presença de intensa atividade convectiva associada à atuação das frentes frias, Alta da Bolívia, VCANS, ZCAS e ZCIT. Muitas vezes estes sistemas atuam simultaneamente, caracterizando um possível comportamento híbrido envolvendo possíveis interações de escala. Diversos estudos (LIEBMANN ET AL., 1999; VERA ET AL., 2017) já documentaram o papel das oscilações intrasazonais e submensal em relação a esses sistemas meteorológicos, no sudeste, centro oeste e nordeste do Brasil. Entretanto, pouco se sabe sobre possíveis interações de escala durante a ocorrência destes eventos. Com o intuito de ilustrar esta questão, apresentam-se na Figura 6.1 a componente real da transformada de ondaletas de ROL nas escalas sinótica, submensal e intrassazonal, obtidas durante o período de 1979 a 2016 no verão austral. A componente real da ondaletas possibilita identificar a amplitude e fase das oscilações de interesse. Assim, podem-se identificar as regiões que apresentam fase com condições atmosféricas favoráveis (sinal negativo) ou desfavoráveis (sinal positivo) para a ocorrência de instabilidade atmosférica. Destaca-se que nas Figuras o sinal da componente real da transformada de ondaletas de ROL é negativo em grande parte das regiões Sul e Sudeste, enquanto que em parte das regiões Nordeste do Brasil e Amazônia ele é positivo. Este padrão espacial lembra uma gangorra de precipitação, tal que quando há convecção ativa na região Sudeste, há supressão de convecção na região Nordeste, possivelmente associada a fase inativa da OMJ. Essa característica tipo dipolo destaca-se no campo da componente real de ROL

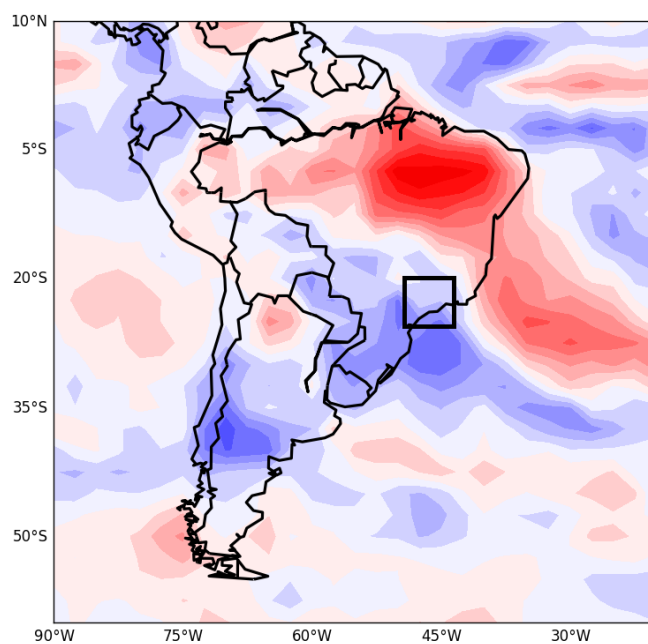
nas três escalas apresentadas na Figura 6.1, evidenciando assim possíveis interações de escala.

Figura 6.1 – Anomalias da componente real da transformada de ondaletas da série temporal de ROL para as escalas a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal durante o verão austral de 1979-2016.

a)



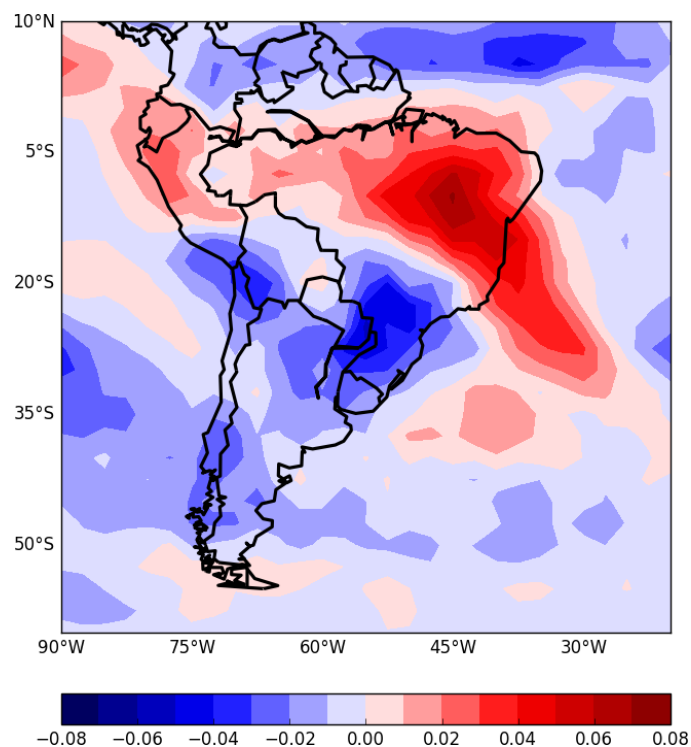
b)



continua

Figura 6.1 Conclusão

c)



Fonte: Produção do autor.

6.1 Estrutura vertical das componentes do BEC

A análise de verão da variabilidade do comportamento da média zonal das componentes do balanço de energia para o Hemisfério Sul discutida a seguir baseia-se na formulação inicialmente proposta por Jiang (2013) (ver seção 3.2.3). Foram consideradas três componentes da escala de variabilidade dos sistemas meteorológicos: sinótica (2-8 dias), submensal (10-30 dias) e intrassazonal (30-60 dias). Esta formulação difere de outros enfoques utilizados em estudos da energética sobre a América do Sul, como os de Gan e Rao, (1999), Gonçalves (2017). Nesses estudos, a metodologia utilizada foi a partir do proposto por Plumb (1983) e Ciclo de Energética de Lorenz, respectivamente. Enquanto, aqui a metodologia inclui componentes de escalas de variabilidade nos termos da equação do BEC.

Como se apresentou na secção 3.2.3, a equação 3.7 do BEC compõe os seguintes termos:

a) termo baroclínico (BC – do inglês, *baroclinic conversion*), o qual está associado à conversão da Energia Cinética (EC) do estado básico para a EC da perturbação;

b) termo barotrópico (BT – do inglês, *barotropic conversion*), associa-se a conversão da EC da perturbação para a EC do estado básico. Desta forma, este termo está associado à transferência de energia dos distúrbios transientes para o escoamento médio (aumento na intensidade do escoamento médio), o que indica uma dissipação dos distúrbios transientes;

c) termo convergência do fluxo de energia (EFC – do inglês, *convergence of the 3D energy flux*), que inclui um termo de advecção da EC pelo escoamento médio e a dispersão de energia associado com fluxo ageostrófico geopotencial. Este termo tem o papel de redistribuir EC.

d) termo de produção da EC via frequência-cruzada (CFE – do inglês, *cross-frequency eddy–eddy interaction*) devido à interação não-linear entre eddies de diferentes escalas de tempo.

Assim para diagnosticar cada uma das componentes do BEC avaliou-se inicialmente a estrutura vertical dessas variáveis a partir do campo da média zonal dos termos de conversão (Figura 6.2). A Figura 6.2a mostra as secções transversais de latitude versus altura, correspondentes às médias zonais da escala sinótica da EC e o termo de conversão baroclínica associado. Observa-se que no Hemisfério Sul, o máximo da EC (contornos) encontra-se na troposfera superior, aproximadamente em 300 hPa, em torno da latitude de 50°S. Como esperado, essa importante variável atua numa ampla faixa que se estende zonalmente dos subtropicais (~30°S) até latitudes altas (~80°S). Importante destacar que os valores máximos estão associados às regiões dominadas por distúrbios transientes, onde tipicamente ocorre forte instabilidade baroclínica.

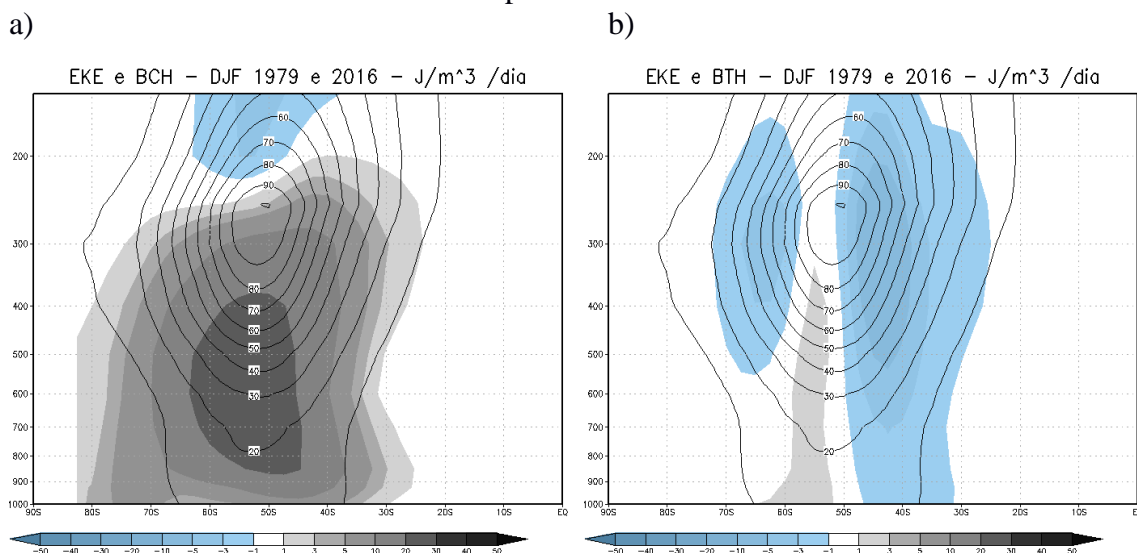
O termo baroclínico (BC) (hachurado) está associado à conversão da EC do estado básico para a EC da perturbação (HOLTON, 2004). Observa-se que no Hemisfério Sul essa variável apresenta valores positivos na baixa e alta troposfera, com máximos aproximadamente de $30 \text{ Jm}^{-3}/\text{dia}$ em torno de 55°S (Figura 6.2a). Aparentemente, essa característica hemisférica se deve ao carácter geográfico do Hemisfério Sul, onde a continentalidade não é expressiva em latitudes médias. Por outro lado, na troposfera superior, essa variável é negativa, com amplitudes em torno de $3 \text{ Jm}^{-3}/\text{dia}$. Este comportamento revela a existência de conversão de energia potencial dos distúrbios para EC nos baixos, médios e altos níveis e o inverso nos níveis mais acima.

O termo barotrópico (Figura 6.2b), associa-se a conversão da EC da perturbação para a EC do estado básico. Desta forma, este termo está associado à transferência de energia dos distúrbios transientes para o escoamento médio (aumento na intensidade do escoamento médio), o que indica dissipação dos distúrbios. Este mecanismo ocorre quando há forte cisalhamento vertical do escoamento zonal médio e presença de fluxo de momentum devido aos distúrbios transientes. Observa-se na Figura 6.2b que a estrutura vertical do termo barotrópico apresenta duas características distintas. A primeira observa-se em torno de 60°S - 55°S , o termo BT da EC apresenta valores positivos na média e baixa troposfera com valores de 1 J m^{-3} . A segunda característica apresenta valores de conversões negativas em torno de -3 J.m^{-3} em 30°S em quase toda coluna atmosférica. Deve-se destacar que na região do máximo observado de EC (em torno de 300 hPa), existem conversões negativas do termo barotrópico.

No sentido da média zonal, o papel do processo EFC (Figura 6.2c) é redistribuir verticalmente EC, na troposfera média-inferior (abaixo de 400 hPa). Esta redistribuição leva a HF EC máxima na troposfera superior. Observam-se valores negativos de EFC nos níveis de pressão de 300 a 800 hPa, enquanto valores positivos foram observados nos níveis altos entre 300 a 150 hPa e também nos baixos níveis em torno de 900 a 1000 hPa. No caso do HN, Jiang (2013) encontrou resultados semelhantes com a ocorrência de conversões negativas em torno de 50°N .

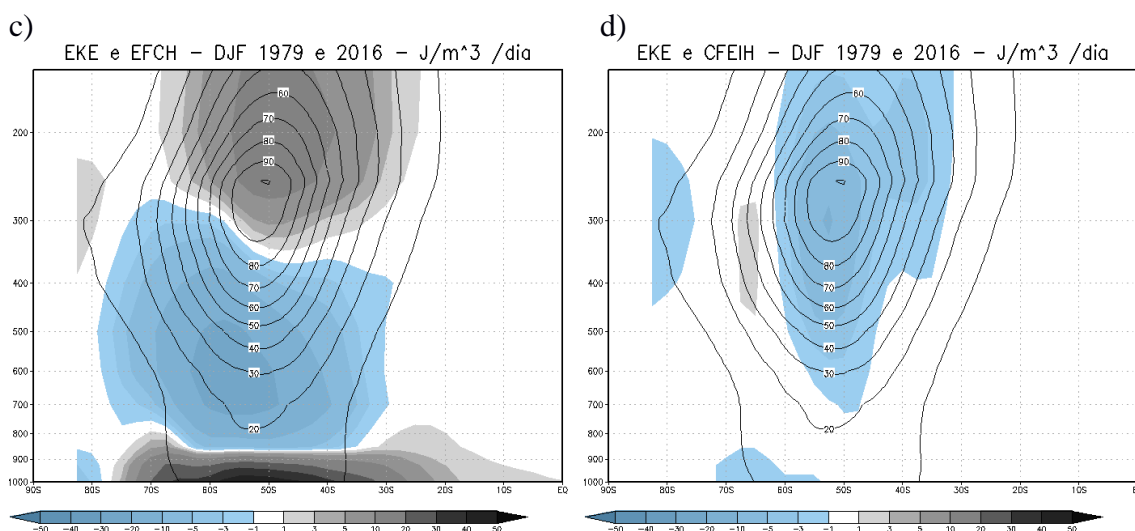
O term CFEI (Figura 6.2d) mostra a distribuição da produção de EC devido à interação não linear entre eddies. Na Figura 6.2d tem-se conversões negativas em torno de 700 a 150 hPa. Desta forma, observa-se que há um grande afundamento da EC HF nas latitudes médias, e a maior conversão negativa, devido à interação entre os eddies é encontrada na alta troposfera (300 hPa) diretamente acima do centro da máxima EC.

Figura 6.2 - Seções transversais latitude versus altura, da média zonal climatológica dos termos do balanço de energia cinética turbulenta (Eddy Kinetic Energy) para eddies de alta frequência (HF) a) conversão baroclínica (BCH) (hachurado) da EC (contornos), b) conversão barotrópica (BTH) (hachurado) da EC (contornos), c) convergência do fluxo de energia (EFCH) da EC (contorno) e d) termo de produção da EC (contorno) via frequência-cruzada entre os eddies (CFEIH) (hachurado). Unidades em $J/m^3/dia$. Análises feitas para o verão austral de 1979 a 2016.



continua

Figura 6.2 Conclusão.



Fonte: Produção do autor.

6.2 Padrões espaciais das componentes do BEC na América do Sul e oceanos adjacentes

Nesta seção são apresentados os padrões espaciais das componentes da EC para a América do Sul e oceanos adjacentes.

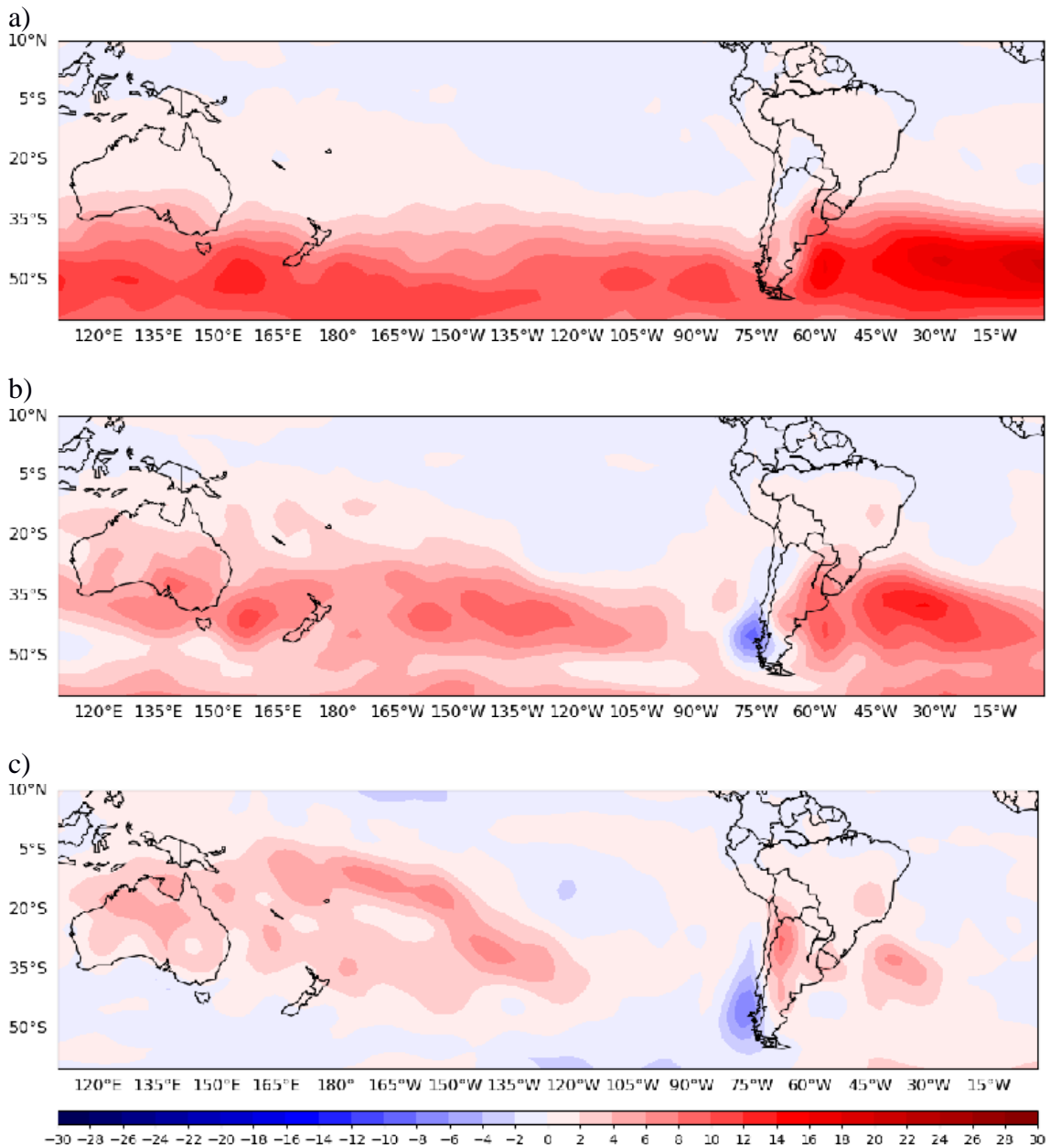
Na Figura 6.3 é apresentado o padrão espacial do termo BC para as três escalas: sinótica, submensal e intrassazonal, respectivamente. Analisando os campos do termo baroclínico da EC das escalas sinótica, submensal e intrassazonal, observa-se que na escala sinótica (Figura 6.3a) os valores são mais expressivos que as outras escalas, indicando alta baroclinia nas regiões dos storm tracks e, na região sul da AS os valores estão associados às regiões ciclogênicas. Tanto na sinótica, quanto na submensal (Figura 6.3b) no sul da AS e Atlântico Sudoeste a conversão baroclínica é acentuada. Resultados semelhantes mostram que nas regiões alongadas de máxima variância do vento meridional em 300 hPa há forte atividade baroclínica, onde são observados os storm tracks (ST). Estes distúrbios transientes ocorrem zonalmente em torno de 50°S. Segundo Trenberth (1991), os fortes gradientes meridionais de temperatura em latitudes médias manteriam a intensidade dos storm tracks. O eixo dos ST tende a permanecer ao sul do

eixo do jato de latitudes médias. Assim, os ST associam-se ao jato, de maneira que jatos mais intensos transportam mais rapidamente os ST, aumentando a variância local.

Na escala intrassazonal (Figura 6.3c), observam-se valores baixos de baroclinia na região Sul da AS e Sudeste e Centro-oeste do Brasil. De acordo com o Trenberth (1991), a supressão da onda baroclínica ocorre quando um escoamento sobre uma região zonalmente com alta baroclinicidade se torna tão intenso tal que as ondas nesta região não conseguem permanecer, no mesmo local, um tempo suficiente para alcançar amplitudes maiores.

Além disso, observa-se que nas escala sinótica (Figura 6.3a) e submensal (Figura 6.3b) no oceano Pacífico Sudoeste e a oeste dos Andes há conversão baroclínica negativa, enquanto que a leste sobre a Argentina e Atlântico Sul essa variável é positiva. Estes resultados sugerem que os Andes tem um papel importante no sentido de atenuar as conversões baroclínicas principalmente nas escalas submensal e intrassazonal. Fora dessa região montanhosa, observa-se que em geral o termo de conversão baroclínica não é significativo na escala intrassazonal (Figura 6.3c).

Figura 6.3 – Padrão espacial dos termos de conversão baroclínica (m^2s^{-2}/dia): a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal.

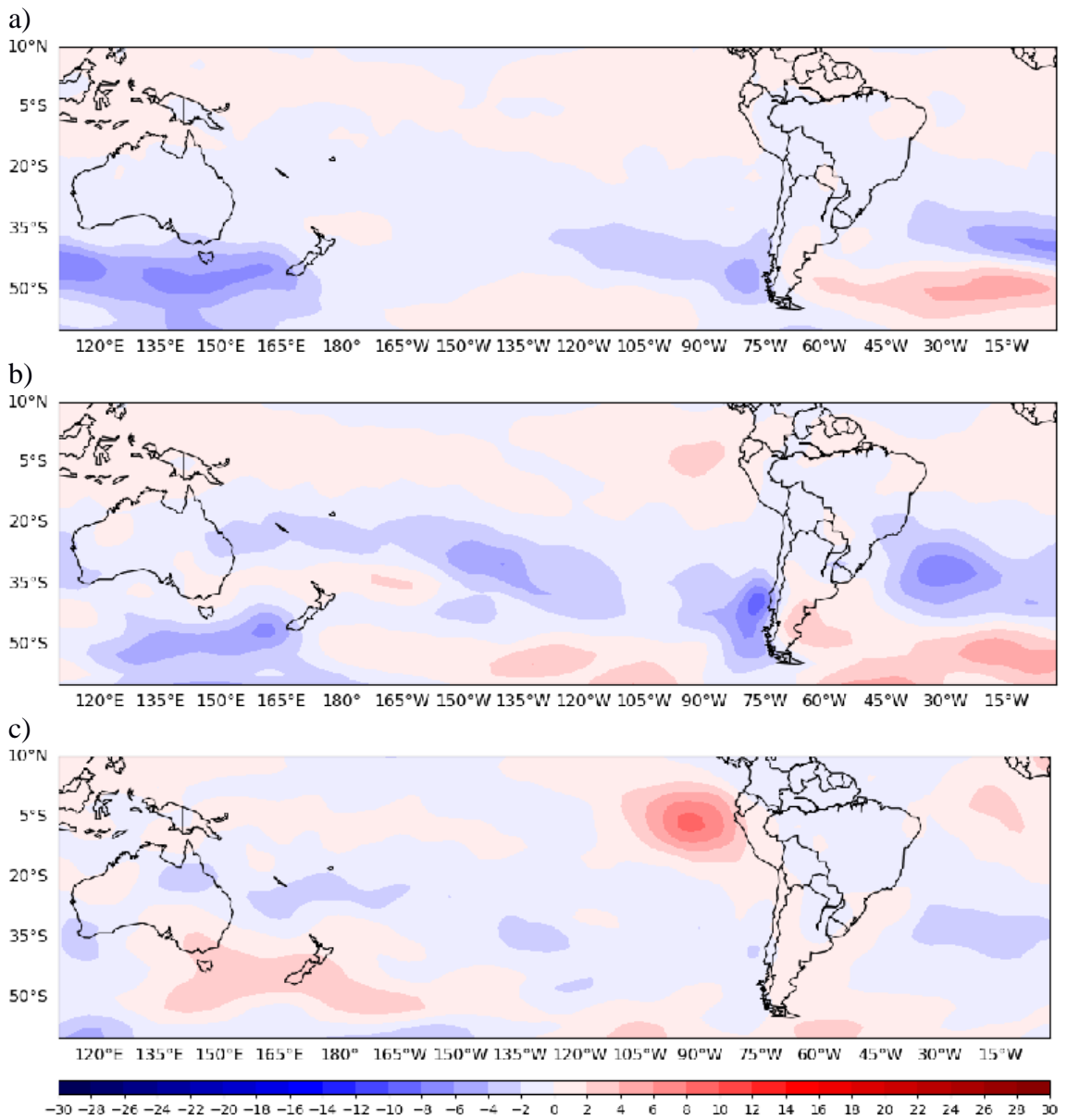


Fonte: Produção do autor.

O padrão espacial do termo de conversão barotrópica nas escalas sinótica e submensal (Figura 6.4a e 6.4b) dominam no Atlântico Sul e parte do Pacífico Sul. Entretanto, principalmente na escala submensal destaca-se nas regiões subtropicais uma grande faixa zonal com valores negativos, marcante na região das Altas Subtropicais.

Tipicamente o termo de conversão barotrópica é tal que a EC dos distúrbios é convertida em EC do estado básico gerando um tipo de anti-cascata de energia que flui das escalas menores para as maiores (STARR, 1968, HOLTON 2004). Entretanto, observa-se um comportamento oposto nessas regiões subtropicais. No caso da escala intrassazonal (Figura 6.4c), a amplitude do termo de conversão barotrópica é pequena e não apresenta um padrão definido.

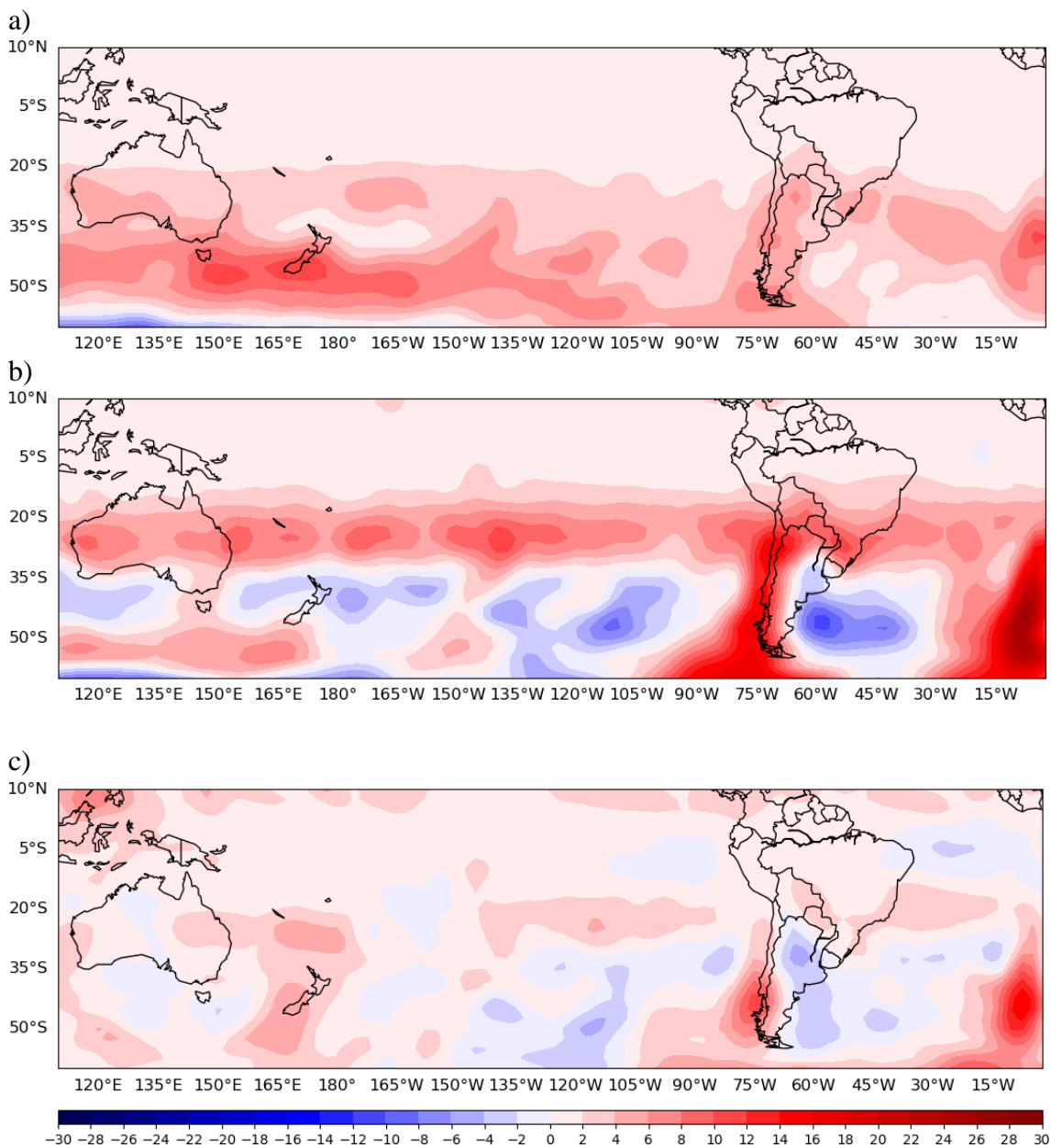
Figura 6.4 - Padrão espacial dos termos de conversão barotrópica (m^2s^{-2} /dia): a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal.



Fonte: Produção do autor.

Os campos de EFC para as escalas em consideração são mostrados na Figura 6.5. Nas escalas sinótica (Figura 6.5a) e submensal (Figura 6.5b) observa-se que no Atlântico Sudoeste essa variável apresenta um padrão tipo dipolo. Essa estrutura espacial indica que a advecção do fluxo médio e a dispersão de energia através do fluxo geopotencial ageostrófico efetivamente redistribuem EC para o norte. Na escala intrassazonal (Figura 6.5c), o termo EFC está caracterizado por um trem de ondas que se desloca do Pacífico em direção a AS, adquirindo componente meridional na AS. Chang e Orlanski (1993), examinando o balanço de energia nos storm tracks observaram que a amplificação das novas ondas corrente abaixo daquelas já existentes ocorre pela irradiação de EC a partir dos fluxos ageostróficos. Caso o entorno não for fortemente dissipativo, este processo continuará a ocorrer, desenvolvendo novas ondas corrente abaixo e mantendo atividade turbulenta sobre regiões de fraca baroclinidade. O desenvolvimento corrente abaixo é predominantemente na troposfera superior, enquanto o desenvolvimento corrente acima domina na troposfera inferior (Chang e Orlanski, 1993). Neste estudo, observou-se que a principal fonte de energia da EC foi o termo EFC para as escalas submensal e intrassazonal.

Figura 6.5 - Padrão espacial dos termos da convergência do fluxo de energia (m^2s^{-2} /dia): a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal.

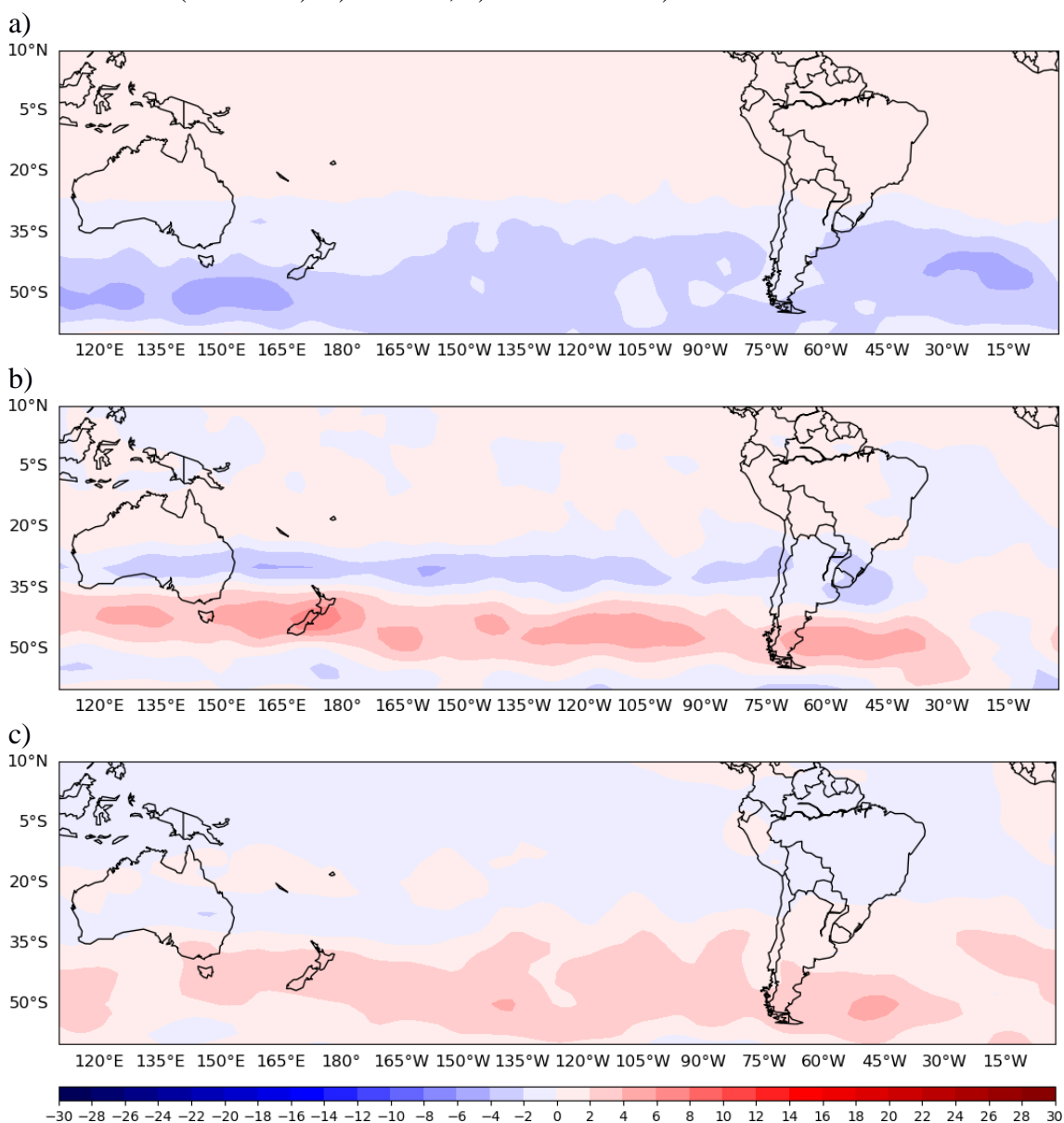


Fonte: Produção do autor.

Na Figura 6.6 é apresentado o padrão espacial do termo CFE para as três escalas: sinótica, submensal e intrassazonal, respectivamente. No oceano Pacífico Sul (Figura 6.6a), ao sul de 35°S observam-se valores negativos do CFE. Na AS, observa-se valores negativos no oceano Atlântico até a região Sudeste do Brasil. Nas demais regiões do Hemisfério Sul, observam-se valores positivos, bem como a leste do estado do Rio

Grande do Sul. O efeito deste termo (Figura 6.6a) é diminuir a HF EC no Pacífico Sul (abaixo de 30°S) e no Atlântico Sul. Esta é uma demonstração clara de que os processos não-lineares de interação de escala são mais importantes nas regiões dominadas por sistemas transientes que atingem grandes amplitudes. Em geral, na escala submensal (Figura 6.6b), observam-se tanto conversões positivas (Pacífico Sul), quanto negativas, indicando que nas regiões de conversões positivas (Pacífico Central) há um aumento da EC e nas regiões de conversões negativas tem-se diminuição da EC. Na América do Sul, existe um padrão oscilatório do Pacífico Central para a região Sul da AS, indicando que as regiões do Pacífico Central a oeste dos Andes e no sul da AS associa-se a diminuição da EC, enquanto que na região da Argentina observa-se um aumento da EC. Por outro lado, a escala intrassazonal (Figura 6.6c), o termo mostra um padrão espacial contrário à escala sinótica e semelhante à escala submensal, em que nas regiões do Pacífico Sul e Atlântico Sul observa-se conversões positivas. Porém as diferenças entre a escala intrassazonal e submensal são em relação à intensidade destas conversões, em que a escala submensal apresenta valores mais intensos.

Figura 6.6 – Padrão espacial dos termos de produção da EC via frequência-cruzada (m^2s^{-2}/dia): a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal.



Fonte: Produção do autor.

6.3 Análises dos padrões espaciais do BEC nas escalas sinótica, submensal e intrassazonal

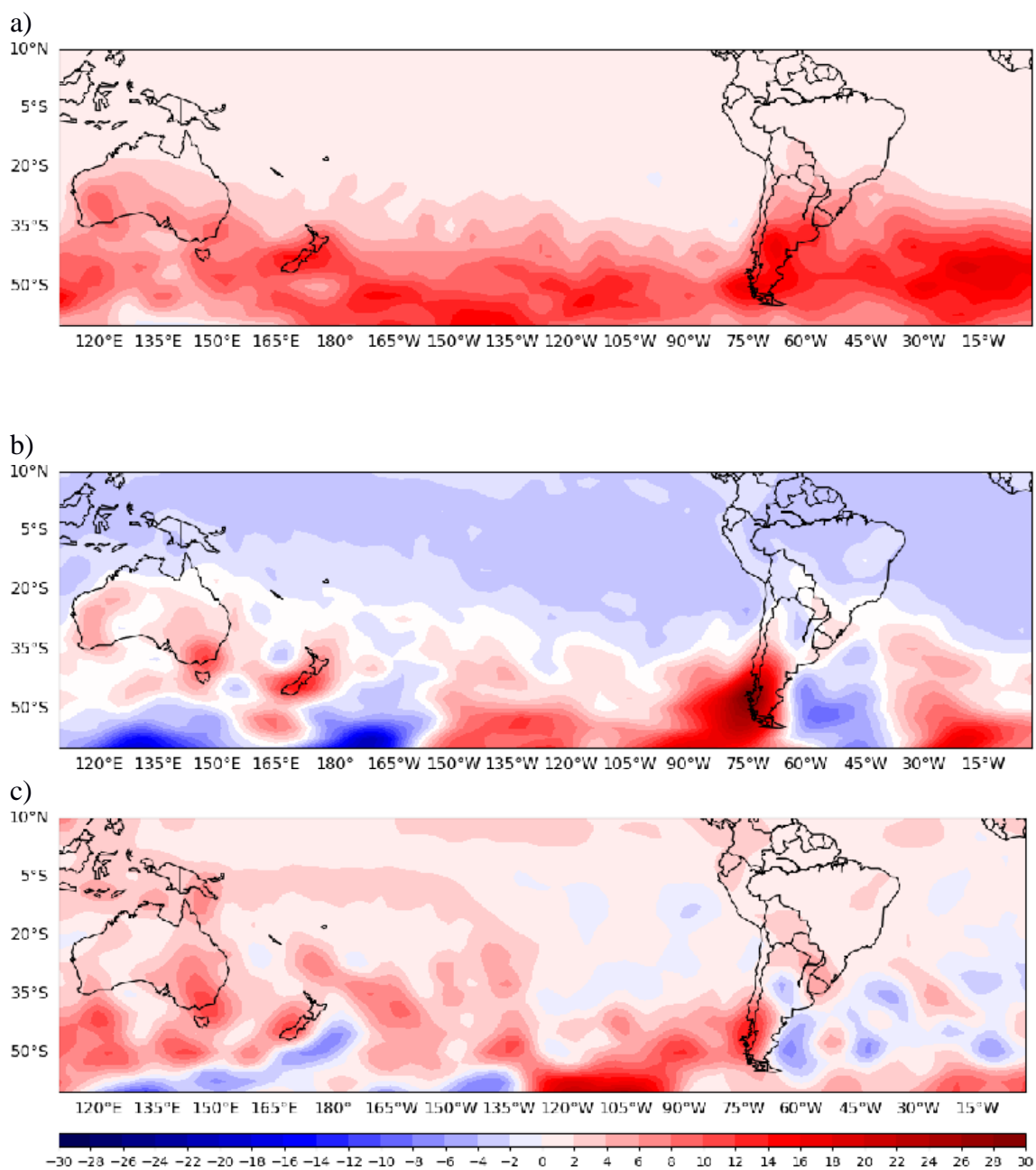
A Figura 6.7 apresenta o campo espacial da BEC para as escalas sinótica, submensal e intrassazonal. Observa-se que a distribuição do BEC na escala sinótica (Figura 6.7a) concentra-se essencialmente em latitudes médias e altas ao longo das storm tracks. A

fonte de energia nessas latitudes origina-se principalmente da conversão baroclínica (Figura 6.3a). Aparentemente em parte do sul e sudeste do Brasil, Argentina e Atlântico sudoeste essa variável está associada com a ocorrência de ciclogênese.

Na escala submensal, a distribuição do BEC concentra-se principalmente no Pacífico Sul a oeste dos Andes, depois se torna ligeiramente negativa ao longo de uma faixa que se estende do norte da Argentina até o Atlântico Sudoeste e novamente se torna positiva no Atlântico Sul. O sinal forte de EC nessa região é dominado pela convergência do fluxo de energia - EFC (Figura 6.5b). Na faixa dos storm tracks a EC dos eddies na escala submensal assemelha-se com o padrão desta variável na escala sinótica, sendo dominado pelo termo de conversão baroclínica dessa escala. Destaca-se que nessa escala a EC positiva também atua no sul e sudeste do Brasil.

A distribuição do BEC no Pacífico Sul na escala intrassazonal (Figura 6.7c) não apresenta um padrão bem definido, ela é caracterizada por sinais positivos e negativos, mas não de forma organizada. Por outro lado, no sul da AS e oceanos vizinhos destaca-se sinais positivos a oeste dos Andes e negativos no Atlântico Sudoeste e parte da Argentina. Assim EC intrassazonal é dominado pelo termo de conversão do fluxo de energia - EFC (Figura 6.5c) que é forte nessa região.

Figura 6.7 – Padrão espacial do Balanço de Energia Cinética para as escalas a) sinótica, b) submensal e c) intrassazonal.



Fonte: Produção do autor.

6.4 Termos dominantes do BEC das escalas sinótica, submensal e intrassazonal na região Sudeste do Brasil

Nesta seção, analisam-se os termos dominantes do BEC das escalas a fim de analisar qual a escala (submensal, sinótica ou intrassazonal) e o termo do BEC mais dominante na região Sudeste do Brasil. Calculou-se a média na área de cada um dos termos da BEC. Primeiramente, obteve-se a média de todos os níveis na vertical e depois a média na área da região Sudeste ($lat=27^{\circ}S$, $lon=310^{\circ}W$, $lat2=22^{\circ}S$, $lon2=315^{\circ}W$). Essa região foi escolhida por apresentar possíveis interações de escala, conforme Figura 6.1b, onde é mostrada a localização aproximada da região escolhida.

Conforme discutido no início da seção 6.1, na Tabela 6.1 apresenta-se o balanço de EC para uma área representativa da ZCAS na região Sudeste. Na escala sinótica, observaram-se valores positivos do EFC e BC, enquanto que conversões negativas foram observadas nos termos BT e CFE. Na escala submensal, observou-se conversões positivas para a escala barotrópica e baroclínica, porém observaram-se valores mais intensos do termo barotrópico, indicando que esse termo é a fonte de energia nesta região. Enquanto, que os termos EFC e CFE apresentam conversões negativas. Na escala intrassazonal, mostrou valores positivos de BT, enquanto que os outros termos (CFE, BC e EFC) apresentam conversões negativas.

A partir destes valores, conclui-se que na região Sudeste a principal fonte de energia da BEC é o termo EFC, enquanto que o termo CFE tem menor influência. Na escala submensal, o termo dominante é o barotrópico, enquanto que o termo EFC apresenta conversão negativa. Para a escala intrassazonal, o termo predominante é o BT, enquanto que o termo EFC é o termo menos dominante. Tanto a escala submensal, quanto intrassazonal apresentam o mesmo termo dominante (barotrópico), porém na escala submensal os termos apresentam amplitude maior que a escala intrassazonal.

Tabela 6.1 - Termos do Balanço de Energia Cinética (m^2s^{-2}/dia) para a média em área da região Sudeste (lat=27°S, lon=310°W, lat2=22°S, lon2=315°W) nas escalas sinótica, submensal e intrassazonal, respectivamente.

Termos / Escalas	Sinótica	Submensal	Intrassazonal
Convergência do Fluxo de Energia	2.27	-13.87	-12.38
Conversão Barotrópica	-0.55	18.10	3.53
Conversão Baroclínica	1.52	5.92	-0.22
Frequência cruzada interação eddies-eddies	-3.19	-3.07	-1.37

Fonte: Produção do autor

6.5 Discussões dos resultados

Neste capítulo analisaram-se os processos dinâmicos que atuam nas escalas sinótica, submensal e intrassazonal e as interações de escalas a partir do cálculo do BEC durante o verão austral no período de 1979 a 2016.

Pela análise das componentes reais de ROL nas escalas sinótica, submensal e intrassazonal os resultados mostram que na região Sudeste observa-se fase com condições atmosféricas favoráveis (sinal negativo), enquanto que na região Nordeste do Brasil observa-se fase desfavorável (sinal positivo) para a ocorrência de instabilidade atmosférica. Este padrão espacial foi observado em ambas às escalas, o que indica fortemente possíveis interações de escala. Os resultados mostraram que a escala intrassazonal apresenta maior intensidade quando comparada as outras escalas, indicando que para este padrão de atividade convectiva, a influência de teleconexões e a presença da OMJ favorecem instabilidades e precipitações nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil. Porém, tipicamente observa-se na escala submensal, um trem de ondas de anomalias de OLR com fase favorável (sinal negativo), que se estende da região Sudeste para o Atlântico Sudoeste, este padrão tem um comportamento semelhante ao padrão espacial da ZCAS, o que indica que possivelmente esta escala tenha um papel importante para o estabelecimento dessa zona de convergência.

Pela análise da estrutura vertical dos termos do BEC, os resultados mostraram que o máximo da HF EC encontra-se na troposfera superior em cerca de 300 hPa e estes valores associam-se às regiões dominadas por distúrbios transientes, onde tipicamente ocorre forte instabilidade baroclínica. Desta forma, evidencia-se que nessa escala, a perturbação é maior em latitudes médias e altas na alta troposfera, esta característica é amplamente conhecida pelos meteorologistas. A estrutura vertical dos termos mostrou que o termo baroclínico apresenta valores positivos entre 850 e 400 hPa numa faixa centrada em torno de 55°S, mas acima dessa camada os valores são negativos. Este comportamento revela a existência de conversão de energia potencial do distúrbio para EC nos baixos níveis e o inverso nas camadas mais acima. Para o termo barotrópico observaram-se duas características distintas tal que na faixa latitudinal entre 50°S-65°S, o termo barotrópico da HF EC apresenta valores positivo na média e baixa troposfera, porém, em torno de 30°S, em praticamente toda coluna os valores de conversões são negativos. Os resultados encontrados para o termo EFC mostra EC redistribuída verticalmente, na troposfera média-inferior (abaixo de 400 hPa). Observam-se valores negativos de EFC nos níveis de pressão de 300 a 800 hPa, enquanto valores positivos foram observados nos níveis altos em torno de 300 a 150 hPa e também nos baixos níveis em torno de 900 hPa a 1000 hPa. O termo CFE mostrou conversões negativas em torno de 700 hPa a 150 hPa. Desta forma, observa-se que há um grande afundamento da HF EC nas latitudes médias, e a maior conversão negativa, devido à interação entre os eddies é encontrada na alta troposfera (300 hPa) diretamente acima do centro da máxima EC.

Foram feitas, também, análises dos padrões espaciais dos termos do BEC para as escalas sinótica, submensal e intrassazonal. Os resultados encontrados mostraram que na escala sinótica, os valores são mais intensos quanto às outras escalas, indicando alta baroclinia nas regiões. Tanto na sinótica, quanto na submensal observa-se baroclinia mais forte ao sul da AS, onde são observados os storm tracks. Estes distúrbios transientes são persistentes no verão e ocorrem zonalmente em torno de 50°S. Na escala intrassazonal, observam-se valores baixos de baroclinia na região Sul da AS e Sudeste e Centro-oeste do Brasil. Além disso, também se observa que nas escala sinótica e

submensal no Oceano Pacífico a oeste dos Andes há conversão baroclínica negativa, sugere-se que a cordilheira dos Andes tenha um papel importante no sentido de atenuar as conversões baroclínicas. Por outro lado, o termo barotrópico nas escalas sinótica e submensal dominam no Atlântico Sul e parte do Pacífico Sul. E destaca-se que na escala submensal, existem conversões negativas nas regiões das ASAS e ASPs. No padrão espacial do termo EFC das escalas sinótica e submensal caracterizou-se por um dipolo norte-sul na AS. Esta estrutura espacial indica que a advecção do fluxo médio e a dispersão de energia através do fluxo geopotencial ageostrofico efetivamente redistribuem EC para o norte. Por outro lado, a escala intrassazonal mostrou um trem de ondas que se desloca do Pacífico em direção a AS, adquirindo componente meridional na AS.

Na análise do campo espacial da BEC para as 3 escalas, conclui-se que a distribuição de EC na escala sinótica concentra-se essencialmente em latitudes médias e altas ao longo das storm tracks, onde a fonte de energia nessas latitudes origina-se principalmente da conversão baroclínica. Na escala submensal, a distribuição de EC concentra-se principalmente no Pacífico Sul a oeste dos Andes, depois se torna ligeiramente negativa ao longo de uma faixa que se estende do norte da Argentina até o Atlântico Sudoeste e novamente se torna positiva no Atlântico Sul. O sinal forte de EC nessa região é dominado pela conversão do fluxo de energia – EFC. Na faixa dos storm tracks a EC na escala submensal assemelha-se com o padrão dessa variável na escala sinótica, sendo dominado pelo termo de conversão baroclínica dessa escala. Por outro lado, na escala intrassazonal a distribuição de EC no Pacífico Sul não apresenta um padrão bem definido, ela é caracterizada por sinais positivos e negativos, mas não de forma organizada. Por outro lado, no sul da AS e oceanos vizinhos destaca-se sinais positivos a oeste dos Andes e negativos no Atlântico Sudoeste e parte da Argentina. Essa configuração assemelha-se aos campos da conversão baroclínica e barotrópica, mas com sinais opostos. Assim EC intrassazonal é dominado pelo termo de conversão do fluxo de energia (EFC) que é forte nessa região

Também, foram feitas análises da escala e do termo mais importante para a região sudeste do Brasil. Os resultados mostram que a escala sinótica apresenta valores positivos do EFC e BC, enquanto que conversões negativas foram observadas nos termos BT e CFE. Na escala submensal, observou-se conversões positivas para a escala barotrópica e baroclínica, porém observaram-se valores mais intensos de BT. Enquanto, que os termos EFC e CFE apresentam conversões negativas. A escala intrassazonal, mostrou valores positivos de BT, enquanto que os outros termos (CFE, BC e EFC) apresentam conversões negativas. A partir destes valores, conclui-se que na região sudeste a principal fonte de energia da EC é o termo EFC, enquanto que o termo CFE tem menor influência. Na escala submensal, a maior fonte de energia é o termo barotrópico, enquanto que o termo EFC apresenta menor influência. Para a escala intrassazonal, a maior fonte de energia é o termo barotrópico, enquanto que o termo EFCL não apresenta tanta influência. Tanto a escala submensal, quanto intrassazonal apresentam as mesmas fontes de energia, sendo que na escala submensal os termos apresentam uma amplitude maior que a escala intrassazonal.

Assim, conclui-se que as três escalas contribuem para redistribuir energia nas regiões em torno da AS. Assim pode-se concluir que ocorre interação de escalas, porém a escala submensal apresenta uma amplitude maior que as outras escalas conforme observado nesta seção e no capítulo 4.

7. CONCLUSÕES

Neste estudo, o objetivo geral foi analisar como os modos de variabilidade intrassazonal, submensal e sinótica associados à atividade convectiva influenciam na América do Sul, com ênfase na região Sudeste do Brasil, explorando os processos físicos e características da circulação atmosférica associada. Para alcançar este objetivo buscou responder as seguintes questões científicas:

1) Quais modos dominam a variabilidade das escalas sinótica, submensal e intrassazonal nos extratropicais da América do Sul e oceanos adjacentes nos períodos de convecção durante o verão austral?

Os modos dominantes apresentam intensidade e características da atividade convectiva que variam em função da localização geográfica. Na escala sinótica, como esperado, a atividade convectiva se destaca na região Sul associada aos sistemas transientes (frentes), enquanto que nos trópicos é modulada por distúrbios ao longo da ZCIT. Na escala submensal, a atividade convectiva é observada nas regiões Sudeste, Amazônia e o Oceano Atlântico, associada à ZCAS, enquanto no Oceano Pacífico Sul são modulados pela atuação da ZCPS. Na escala intrassazonal, observou-se que a atividade convectiva na região sudeste está associada à ZCAS, enquanto no oceano Pacífico Equatorial Oeste e Continente Marítimo são modulados pela atuação da OMJ.

2) Existe interação das escalas sinótica, submensal e intrassazonal nas regiões extratropicais da América do Sul, com ênfase na região sudeste do Brasil, e oceanos adjacentes?

A interação das escalas sinótica, submensal e intrassazonal, a partir da análise do Balanço de Energia Cinética, mostrou que a distribuição de EC na escala sinótica concentra-se essencialmente em latitudes médias e altas ao longo dos storm tracks. A fonte de energia nessas latitudes origina-se principalmente da conversão baroclínica. Na escala submensal, a distribuição da EC concentra-se principalmente no Pacífico Sul a

oeste dos Andes. O sinal forte de EC nessa região é dominado pela convergência do fluxo de energia. Na faixa dos storm tracks a EC dos eddies na escala submensal assemelha-se com o padrão dessa variável na escala sinótica, sendo dominado pelo termo de conversão baroclínica dessa escala. Na escala intrassazonal, a distribuição de EC no Pacífico Sul não apresenta um padrão bem definido, ela é caracterizada por sinais positivos e negativos, mas não de forma organizada. Porém, no sul da AS e oceanos vizinhos destaca-se sinais positivos a oeste dos Andes e negativos no Atlântico Sudoeste e parte da Argentina. Essa configuração assemelha-se aos campos da conversão baroclínica e barotrópica, mas com sinais opostos. Assim EC intrassazonal é dominada pelo termo de conversão do fluxo de energia que é forte nessa região. Conclui-se que a escala submensal apresenta maior amplitude do que as outras escalas, e que na região sudeste da América do Sul existe interação entre as escalas submensal, intrassazonal e sinótica.

Outra forma de confirmar a interação de escalas foi a partir do estudo de caso para a região Sudeste do Brasil durante o verão austral de 2010-2011. Quanto ao impacto dos sistemas de escala intrassazonal, os resultados mostraram que a forte atividade convectiva na escala intrassazonal começou a operar no sudeste do Brasil no final de dezembro, intensificando o evento ZCAS. A oscilação intrassazonal continuou a intensificar até o final da primeira metade de janeiro de 2011. Essa oscilação contribuiu consideravelmente para a ocorrência de grandes volumes de precipitações no Sudeste, intensificando o desempenho dos sistemas atmosféricos regionais. Durante o ciclo de vida da ZCAS no sudeste do Brasil em janeiro de 2011, observou-se a presença simultânea de padrões espaciais de escalas espectrais sinótica, submensal e intrassazonal, sugerindo a ocorrência de interação de escalas. Além deste caso, analisou-se mais outros dois casos em que teve mais um evento de ZCAS, em que se confirmou, novamente a interação de escalas. No período do dia 08 a 15 de fevereiro de 2016, no campo médio da potência espectral de ROL nas escala sinótica, submensal e intrassazonal observa-se uma ampla faixa com valores elevados de potência espectral de ROL estendendo-se de noroeste para sudeste do Brasil coincidindo com o

estabelecimento de um período convectivamente ativo na ZCAS. A amplitude apresenta valores maiores na escala sinótica, seguido pelas escalas submensal e intrassazonal. Neste evento a precipitação mais intensa ocorreu nas regiões centro-oeste do Brasil, sul da região sudeste (litoral de SP) e norte da região Sul (nordeste de SC e leste do PR). Além disso, a ZCAS associou-se a intensa convergência de umidade em 850 hPa (Climanálise, 2011) que favoreceu os acumulados de chuva nas regiões. E no caso de 22 a 25 de dezembro de 2015, a partir da análise espectral e temporal confirmou-se a interação de escalas, porém a partir do campo médio de potência espectral de ROL observou-se que a escala submensal apresentava valores maiores na região sudeste do Brasil quando comparada as outras escalas. Neste evento de ZCAS, também observou-se a atuação de sistemas em altos níveis como circulação anticiclônica, vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN), jato subtropical mais intenso na região sul do Brasil e a oeste do jato observou-se dois cavados, um no Pacífico Sul e outro na região Sul da América do Sul. Por outro lado, nos baixos níveis observou-se a atuação da ASAS adentrando no continente e, também, ventos associados a ASAS vindos do Oceano Atlântico em direção à região da Amazônia apresentaram mudança na direção para sudeste do Brasil, o que indicou transporte de umidade e calor para a região Sudeste do Brasil. Na região Sudeste, observou-se convergência do vento associados ao transporte de umidade e calor da Amazônia e ao cavado observado da região Sul, esta convergência está associada ao canal de umidade, que posteriormente, se tornou a ZCAS.

3) Quais processos dinâmicos atuam no desenvolvimento dos sistemas meteorológicos nas escalas sinótica, submensal e intrassazonal na América do Sul?

Os processos dinâmicos dominantes no desenvolvimento dos sistemas de tempo associados as escalas sinótica, submensal e intrassazonal mostram que para a escala sinótica, a EC concentra-se essencialmente em latitudes médias e altas ao longo das storm tracks e a fonte de energia nessas latitudes origina-se principalmente da conversão baroclínica. Na escala submensal, a distribuição da EC concentra-se principalmente no Pacífico Sul a oeste dos Andes. O sinal forte de EC nessa região é dominado pela convergência do fluxo de energia. Na faixa dos storm tracks a EC dos eddies na escala

submensal assemelha-se com o padrão dessa variável na escala sinótica, sendo dominado pelo termo de conversão baroclínica dessa escala. Por outro lado, a distribuição de EC no Pacífico Sul na escala intrassazonal não apresenta um padrão bem definido, ela é caracterizada por sinais positivos e negativos, mas não de forma organizada. Porém, no sul da AS e oceanos vizinhos destaca-se sinais positivos a oeste dos Andes e negativos no Atlântico Sudoeste e parte da Argentina. Essa configuração assemelha-se aos campos da conversão baroclínica e barotrópica, mas com sinais opostos. Assim EC intrassazonal é dominado pelo termo de conversão do fluxo de energia que é forte nessa região.

Conclui-se que as três escalas contribuem para redistribuir energia nas regiões em torno da AS, em particular na região Sudeste do Brasil. Assim pode-se dizer que há interação de escalas, porém a escala submensal apresenta uma amplitude maior que as outras escalas na região sudeste do Brasil.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

- 1) Investigar a interação de escalas nas estações de outono, inverno e primavera.
- 2) Investigar a influência da escala submensal nas estações de outono, inverno e primavera.
- 3) Analisar outros casos de ZCAS para ver se também há interação de escalas.
- 4) Aplicar a metodologia da energética utilizada neste estudo em outras regiões da América do Sul para ver qual escala e qual termo da EC é mais dominante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEITUNO, P; MONTECINOS. Patterns of convective cloudiness in South America during the austral summer from OLR pentads. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 5., 1997, Pretoria, South Africa, **Amer. Meteor. Soc.**, 1997. p.328–329.

AMBRIZZI T.; HOSKINS B.J. Stationary Rossby wave propagation in a baroclinic atmosphere. *Quarterly. Journal of. Meteorological. Society.*, v.123,p. 919-928, 1997.

ANAMALAI, H.; SLINGO, J.M.; Active/break cycles: diagnosis of the intraseasonal variability. **Climate Dynamics**, v.18, p. 85-102, 2001.

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. 2005.** 185p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005.

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. 3, p. 468-481, 1996.

BLÁZQUEZ, J. ; SOLMAN, S. A. Interannual variability of the frontal activity in the Southern Hemisphere: relationship with atmospheric circulation and precipitation over southern South America. *Climate Dynamics*, v. 46, n. 7-8, p. 2327-2336, 2016.

CAI, M.; M. MAK. Symbiotic relation between planetary and synoptic-scale waves. **Journal of the Atmospheric Science**, v.47, p.2953-2968, 1990.

CHEN, T-C.; J-M. CHEN. The 10–20-day mode of the 1979 Indian monsoon: Its relation with the time variation of monsoon rainfall. **Monthly. Weater. Review**,v. 121, p. 2465–2482, 1993.

CUFF, T.J.; CAI, E.M. Interaction between the low and high - frequency transients in the Southern Hemisphere winter circulation. **Tellus**, v.47 A,p 331- 350, 1995.

CARDOSO, A. O.; SILVA DIAS, P. L. A influência da temperatura da superfície do mar no clima de inverno na cidade de São Paulo.IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. p-3685-3693.

CARDOSO, A. O. **Relações entre a TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico e as condições climáticas nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil.** 2005. 192p. Tese (Doutorado em Geofísica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CARVALHO, L.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in Southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal Climate**, v.15, p.2377–2394, 2002a.

CARVALHO, L.; JONES, C.; SILVA DIAS, M. Intraseasonal large-scale circulations and mesoscale convective activity in tropical South America during the TRMM-LBA campaign. **Journal of Geophysical Research. Atmospheric**, v.107, p.LBA0-1-LBA0-20, 2002b. DOI: 10.1029/2001JD000745.

CARVALHO, L.; 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, n. 1, p. 88-108, 2004.

CARVALHO, M. Â. V.; OYAMA, M. D. Variabilidade da largura e intensidade da Zona de Convergência Intertropical atlântica: aspectos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo , v. 28, n. 3, p. 305-316, s-2013.

CASARIN, D. P.; KOUSKY, V. E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, p. 83-90, 1986.

CASTRO, C. A. C. **Interações trópicos-extratrópicos na escala de tempo intrassazonal durante o verão austral e seus efeitos na América do Sul**. 2009. 162 p. (INPE-16604-TDI/1590). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M. G. A.J. da. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2009. v. 182, 458p., ISBN 978-85-86238-92-5.4.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: a review and case studies for the first decade of the 21st century,” *Atmospheric Research*, v. 118, p. 27-40, 2012. DOI:10.1016/j.atmosres.2012.06.012.

CAVALCANTI IFA; SHIMIZU MH. Climate fields over South America and variability of SACZ and PSA in HadGEM2-ES. *American Journal of Climate Change*. v.1, n.3, p.132–144, 2012. DOI: 10.4236/ajcc.2012.13011.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. *Infoclima*, São José dos Campos, v.18, n.1, p.3, 2011.

CHANG, E. K. M.; I. ORLANSKI. On the dynamics of a storm track. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.50,p. 999–1015, 1993.

CHANG, E. K. M. Wave packets and life cycles of troughs in the upper troposphere: examples from the southern hemisphere summer season of 1984/85. **Monthly Weather Review**, v.128, p. 25–50, 2000.

CLEBER, C.S.; CLARKE, R. T.; DA SILVEIRA, A. L.L. Estudo da ocorrência de fluxos no perfil vertical do vento na baixa atmosfera com análise das componentes principais (ACP) e a sua relação com a precipitação no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 121-127, Apr. 2007 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862007000100013&lng=en&nrm=iso>. access on 12 June 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862007000100013>.

COELHO, M. D. S.; GAN, M. A.; E CONFORTE, J. C. Estudo da variabilidade da posição e da nebulosidade associada à ZCIT do Atlântico, durante a estação chuvosa de 1998 e 1999 no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.1, p. 23–34, 2004.

CUNNINGHAM, C.; CAVALCANTI, I., Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic convergence zone. **International Journal of Climatology**,v. 26, p.1165–1180, 2006.

DAUBECHIES, I., **Ten lectures on wavelets**. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992. 357 p.

DE OLIVEIRA, F., INMET: 100 anos de meteorologia no Brasil. Brasília: INMET, 2009. 119p.

DURKEE, J.D.; MOTE, T.L.; SHEPHERD, M., The contribution of mesoscale convective complexes to rainfall across subtropical South America. **Journal of Climate**, v. 22, p.4590–460, 2009.

DRUMOND, A.; NIETO, R.; GIMENO, L.; AMBRIZZI, T. A lagrangian identification of major sources of moisture over Central Brazil and La Plata Basin. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, D14128, 2008. DOI:10.1029/2007JD009547, 2008.

ESCOBAR, G. C. J.; SELUCHI, M. E. Classificação sinótica dos campos de pressão atmosférica na América do Sul e sua relação com as baixas do chaco e do noroeste argentino. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 365-375, s-2012 .

FERRAZ, S.E.T., **Oscilações intrasazonais no sul e sudeste do Brasil durante o verão, 200**. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2000.

FERRAZ, S.; GRIIM, A. M.; AMBRIZZI, T. Variabilidade intrassazonal no verão: modo ZACS-norte-definição e características. Rio de Janeiro – SBMET, 2004.

FERREIRA, N. S., Zona de Convergência Intertropical. Climanálise Especial. Edição Comemorativa de 10 anos. FUNCEME. p.136 – 139, 1996.

FERREIRA, C. C. **Padrões da variabilidade da atividade convectiva sobre a América do Sul utilizando ondaletas e padrões principais de oscilação**, 2014. 117 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

FIGUEROA, S. N., SATYAMURTY, P.; SILVA DIAS, P. L., Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.52, p.1573–1584, 1995.

FOUFOULA-GEORGIU, E.; KUMAR, P. Eds., **Wavelets in geophysics**. San Diego, CA: Academic Press, 1995, 373 p.

GABOR, D. **Theory of communication**. J IEEE, v.93, n.3, p.429–457, 1946.

GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, v. 119, n. 5, p. 1293-1302, 1991.

GARREAUD, R.D.; WALLACE, J. Summertime incursions of midlatitude air into subtropical and tropical South America., **Monthly Weather Review**, v. 126, p.2713-2733, 1998.

GILL, A. E. Some simple solutions for heat-induced tropical circulation, **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.106, n.449, p.447–462, 1980. DOI:10.1002/qj.49710644905.

GRIMM, A.M.; SILVA DIAS, P.L. Analysis of tropical-extratropical interactions with influence functions of a barotropic model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.52, p.3538-3555, 1995.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R ; DOYLE, M. E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v.13, p;35-58, 2000.

GRIMM, A.M.; TEDESCHI, R.G. Influência de eventos El Niño e La Niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBMET, 2004. 1 CD-ROM.

GRIMM, A.M.; TEDESCHI, R.G., ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, v.22, p.1589–1609, 2009.

GOOD, P.; LOWE, J.A; COLLINS, M.; MOUFOUMA-OKIA, W. An objective tropical Atlantic sea surface temperature gradient index for studies of south Amazon dry-season climate variability and change. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, B, v.363, p.1761–1766, 2008.

- GONZALEZ, P. L. M.; VERA, C. S. Summer precipitation variability over South America on long and short intraseasonal timescales. **Climate Dynamics**, v.43, n.7/8, p.1993-2007, 2013.
- GU, D.; PHILANDER, G. H. Secular changes of annual and interannual variability in the tropics during de past century. **Journal of Climate**, v.8, n. 4, p.864-876, 1995.
- HANNACHI, A.; JOLIFFE, I.; STEPHENSON, D. Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 1119–1152, 2007. DOI:10.1002/ joc.1499
- HASSELMANN, K., PIPs and POPs: the reduction of complex dynamical systems using principal interaction and oscillation patterns. **Journal Geophysical Research**, v. 93, p.11015-11021, 1988.
- HARTMANN, D. L.; MICHELSEN, M. L.; KLEIN, S.A. Seasonal variations of tropical intraseasonal oscillations: a 20–25-day oscillation in the western North Pacific. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 49, p.1277–1289, 1992.
- HIRATA, F. E. **Intraseasonal variability of summer convection over South America**. 2013. 125 p. Thesis (PhD.) Georgia Institute of Technology, Georgia, 2013.
- HIRATA, F. E., GRIMM, A. M. The role of synoptic and intraseasonal anomalies in the life cycle of summer rainfall extremes over South America. **Climate Dynamics**, v.9, p. 3041-3055, 2016.
- HOLTON, J. R., **An introduction to dynamic meteorology**. 4ed, New York: Elsevier Academic Press, 2004, 535p.
- HOREL, J. D. Complex principal component analysis: theory and examples. **Journal of Climate Applied Meteorology**, v.23, p.1660–1673, 1984.
- HOSKINS, B. J.; VALDES, P. J. On the existence of storm-tracks. **Journal of the Atmospheric Science**, v. 47, n.15, p. 1854-1864, 1990.
- HOSKINS, B. J.; HODGES, K. I.: A new on Southern Hemisphere storm tracks. **Journal Climate**, v. 18, p. 4108-4129, 2005.
- JIANG, X.; WALISER, D. E. Two dominant subseasonal variability modes of the eastern Pacific ITCZ. **Geophysical Research Letters**, v. 36, L04704, 2009. DOI:10.1029/2008GL036820.
- JIANG, X.T., DENG, Y; Local kinetic energy budget of high-frequency and intermediate-frequency eddies: Winter climatology and interannual variability, **Climate Dynamics**, v. 41, n.3–4, p.961–976, 2013.

- JONES, C.; CARVALHO, L.M.V. Active and break phases in the South American monsoon system. **Journal of Climate**, v. 15, p.905–914, 2002.
- KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. Sobre o monitoramento das oscilações intrasazonais. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 7, p. 593-602, 1992.
- KALNAY, E.; MO, K. C.; PAEGLE, J. Large-amplitude, short-scale stationary Rossby waves in the Southern Hemisphere: observations and mechanistic experiments to determine their origin. **Journal Atmospheric Sciences**, v.43, p. 252-275, 1986.
- KODAMA, Y.-M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ), Part I: characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 70, p. 813–835, 1992.
- KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T.: Real-time monitoring of intraseasonal oscillations. In: ANNUAL CLIMATE DIAGNOSTICS WORKSHOP, 18., 1993, Boulder, CO. Proceedings... 1993.
- KOUSKY, V. E.; KAYANO, M.T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. **Journal of Climate**, v.7, p.1131-1143, 1994.
- KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n.6, p.538- 551, 1981.
- KUNG, E. C.; CHAN, P.H. Energetics characteristics of the Asia winter monsoon in the Source Region. **Monthly Weather Review**, v.109, n.4, p.854-870, 1981.
- LAU, W. K.-M.; WALISER, D.E. Intraseasonal variability in the atmosphere–ocean climate system. 2ed. Berlin: Springer, 2012. 646 pp.
- LEMOS, C. F.; CALBETE, N. O. Sistemas frontais que atuaram no litoral de 1987 a 1995. *Climanálise*, esp., 1996.
- LIEBMANN, B.; C. SMITH, Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, p.1570-1573, 1996.
- LIEBMANN B.; KILADIS, G.N; VERA, C.S; SAULO, AC; CARVALHO, L.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, p.3829– 3842, 2004.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1877–1891, 1999.

LIN, J.-L., et. Al., Tropical intraseasonal variability in 14 IPCC AR4 climate models. Part I: convective signals. **Journal of Climate**, v.19, p. 2665–2690, 2006.

LORENZ, E. N., Available potential energy and the maintenance of the general circulation, **Tellus**, v.7, p.157-167, 1955.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 29, n. 6, p. 1109- 1123, 1972.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 28, n. 5, p. 702-708, 1971.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Observations of the 40-50-day tropical oscillation-A review. **Monthly Weather Review**, v. 122, n. 5, p. 814-837, 1994.

MALONEY, E. D.; SHAMAN, J. Intraseasonal variability of the West African monsoon and Atlantic ITCZ. **Journal of Climate**, v. 21, p.2898– 2918, 2008.

MARENGO, J. A., SOARES, W., SAULO, W.; NICOLINI, M. Climatology of the LLJ east of the Andes as derived from the NCEP reanalyses. **Journal of Climate**, v. 17, p. 2261-2280, 2004.

MARGULES, M., *Über die Energie der Stürme* Jahrbücher Zentralanstalt Meteorologie, Viena, p. 1-26, 1903.

MARQUES, R.F.C., RAO, V.B. Bloqueio atmosférico no Hemisfério Sul durante o período de 1980 a 1993. *Climanálise*, esp., pt. 8, 1996.

MARQUES, R.F.C.; RAO; V.B. A diagnosis of a long-lasting blocking event over the Southeast Pacific Ocean. **Monthly Weather Review**, v. 127, p. 1761-1776, 1999.

MARQUES, R.F.C.; RAO; V.B. Interannual variations of blocking in the Southern Hemisphere and their energetics. **Journal Geophysical Research**, v. 105, p. 4625-4636, 2000.

MARTON, E., **Oscilações intrasazonais associadas à zona de convergência do Atlântico Sul no sudeste Brasileiro**. 2000. Tese (Doutorado em geociências) – Universidade de São Paulo – São Paulo, 2000.

MATTHEWS, A. J.; KILADIS, G. N. The tropical–extratropical interaction between high-frequency transients and the Madden–Julian oscillation. **Monthly. Weather. Review**, v. 127, p. 661–677, 1999.

MATSUNO, T. Quasi-geostrophic motions in the equatorial area, **Journal of Meteorological Society of Japan**, v. 44, n.1, p.25–43, 1966.

MO, K. C.; GHIL, M. Statistics and dynamics of persistent anomalies. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 44, n. 5, p. 877-902, 1987.

MO KC; HIGGINS RW. The Pacific–South American modes and tropical convection during the Southern Hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, v. 126, p. 1581–1596, 1998.

MO, K. C; PAEGLE J. N. The Pacific-South American modes and their corrente abaixo effects. **International of Journal Climate**, v.21, p.1211–1229, 2001.

MO, K. C; PAEGLE, J.N. Pan-American. In: LAU, W. K.-M.; WALISER, D.E. (Eds) *Intraseasonal variability in the atmosphere–ocean climate system*. 2ed. Berlin: Springer, 2012. 646 p.

MONCRIEFF, M.; WALISER, D.; MILLER, M. J.; . SHAPIRO, M.A.; ASRAR, G. R.; CAUGHEY, J. Multiscale convective organization and the YOTC virtual global field campaign, **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n.8, p. 1171–1187, 2012.

MOUNIER,F.;JANICOT, S.; KILADIS, G.N. The West African monsoon dynamics. Part III: The quasi-biweekly zonal dipole. **Journal of Climate.**, v. 21, p.1911–1928, 2008.

MORALES, C. A. R.; DA ROCHA, R. P.; BOMBARDI, R. J. On the development of summer thunderstorms in the city of São Paulo: mean meteorological characteristics and pollution effect. **Atmospheric Research**, v.96, n.23, p.477-488, 2009.

MORLET, J.; et al. Wave propagation and sampling theory. **Geophysics**, v.47, p.203-236, 1982.

MUZA, M. N. **Variabilidade intrassazonal e interanual dos eventos extremos de precipitação e seca no Sul e Sudeste do Brasil durante o Verão Austral**. 2005. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geofísicas) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MUZA, M. N.; CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B.: Intraseasonal and interannual variability of extreme dry and wet events over southeastern South America and the subtropical Atlantic during austral Summer. **Journal of Climate**, v. 22, p. 1682-1699, 2009.

NOGUES-PAEGLE J, MO KC Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v.125, p. 279–291, 1997.

NOGUES-PAEGLE J, BYERLE LA, MO KC Intraseasonal modulation of South American summer precipitation. **Monthly Weather Review**, v.128, p. 837–850, 2000.

PAULUHN, A. Principal oscillation pattern analysis of sea surface temperature data. In: ERS SYMPOSIUM ON SPACE AT THE SERVICE OF OUR ENVIRONMENT, Florence, Italy. **Proceedings...** ESA, 1997. v. 414, p.1501-1504.

PEREIRA FILHO, A. J.; HAAS, R.; AMBRIZZI, T. Caracterização de eventos de enchentes na bacia do Alto Tietê por meio do radar meteorológico e da modelagem numérica de mesoescala. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu, PR, **Anais..**, 2002. CD-ROM.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. *Climate Dynamics*, v. 17, n. 2-3, p. 205-212, 2001.

PIVA, E.D.; MOSCATI M.C.L.; GAN M.A. Papel dos fluxos de calor latente e sensível em superfície associado a um caso de ciclogênese na costa leste da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 4, p.450- 476, 2008.

QUADRO, M.F.L. **Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 194p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

REBOITA, M. S. **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade**. Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG–USP, 359 pg., 2008.

REBOITA M.S.; GAN M. A.; DA ROCHA R. P.; AMBRIZZI T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p.185-200, 2010.

ROBALLO, S. T. **Estudo dos padrões da circulação atmosférica na América do Sul utilizando o POP**. 2012. 202 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/11.12.13.39-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.

RUI, H.; WANG, B. Development characteristics and dynamic structure of tropical intraseasonal convection anomalies, **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 47, n.3, p. 357–379, 1990.

- SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E.J. Mesoscale convective systems over southeastern South America and their relationship with the South American low-level jet. **Monthly Weather Review**, v.135, n. 4, p.1290-1309, 2007.
- SANTOS, J. G. M.; CAMPOS, C. R. J. de; LIMA, K. C. Análise de jatos de baixos níveis associados a um sistema convectivo de mesoescala na América do Sul: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 451-468, d. 2008.
- SANCHES, M. B. **Análise sinótica da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) utilizando-se a técnica de composição**. 2002. 95f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.
- SAHA, et. al., The NCEP climate forecast system reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, n.8, p. 1015-1057, 2010. (DOI: 10.1175/2010BAMS3001.1)
- SAHA, et.al. The NCEP climate forecast system version 2. **J. Climate**, 27, 2185-2208 (DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00823.1), 2014.
- SLEIMAN, J.; SILVA, M. E. S. Padrões atmosféricos associados a eventos extremos de precipitação sobre a região sul do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 20, p. 93-109, 2010.
- SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F., Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Monthly Weather Review**, v.117, n.6, p.1355-1364, 1989.
- SATYAMURTY, P.; FERREIRA, C.C.; GAN, M.A. Cyclonic Vortices over South America, **Tellus**, 42A, p. 194-201, 1990.
- SATYAMURTY, P. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111, p. 195-209, 2013. DOI 10.1007/s00704-012-0637-7.
- SELUCHI, M.E.; SAULO, A.C. Baixa do noroeste argentino e baixa do chaco: características, diferenças e semelhanças. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.27, n.1, p. 49-60, 2012.
- SERRA, Y. L.; JIANG, X.; TIAN, B.; AMADOR ASTUA, J. ; MALONEY, E.D; KILADIS, G.N. Tropical intra-seasonal modes of the atmosphere, **Annual Review of Environment and Resources**, v.39, p.189–215., 2014.
- SILVA DIAS, P. L.; SCHUBERT, W. H.; DEMARIA, M. Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 40, p.2689– 2707, 1983.

SILVA DIAS, M.A.F. Complexos convectivos de mesoescala sobre a região sul do Brasil. *Climanálise*, esp., 1996.

SCHNEIDER, M A, **A intrassazonalidade nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil durante os meses de inverno**. 2004. 121p. Dissertação (Mestrado em Geofísica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

STORCH, VON H. et al. Principal oscillation pattern analysis of the 30 to 60 day oscillation in a General Circulation Model equatorial troposphere. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, p. 11022-11036, 1988.

STORCH, VON H; XU, J. Principal oscillation pattern analysis of the 30- to 60-day oscillation in the tropical troposphere. Part I: definition of an index and its prediction. **Climate Dynamics**, p.175-190, 1990.

STORCH, VON H. ET AL. Principal oscillation patterns: a Review. **Journal of Climate**, v. 8, p. 377-399, 1995. DOI: 10.1175/1520-0442(1995)0082.0.CO;2

STORCH, VON H.; ZWIERS, F. W. Statistical analysis in climate research., Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden Julian oscillation. **International Journal of Climate**, v. 26, p. 1759-1776, 2006.

TALJAARD, J. J. Topics: Synoptic meteorology of the Southern Hemisphere. *Meteorological Monographs*, v.13, n.35, p.129-213, 1972.

TAMURA, T. S., Doctor Margules on energy of storms. **Monthly Weather Review**, v. 33, n.12, p.519-521, 1905.

TRENBERTH, K. E. Observed southern hemisphere eddy statistics at 500mb frequency and spatial dependence. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, p. 2585-2605, 1981.

TRENBERTH, K; MO, K. Blocking in the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v.113, p. 3-21, 1985.

TRENBERTH, K. E. Storm tracks in the southern hemisphere. **Journal of the Atmospheric Science**, v. 48, n. 19, p. 2159-2178, 1991.

TRENBERTH, K.E.; BRANSTATOR, G. W.; KAROLY, D.; KUMAR, A.; LA; N.C.; ROPELWESKI, C. Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures. **Journal Geophysical Research**, v.103, C7, p.14291-14324, 1998.

- TORRENCE, C. COMPO, G.P., A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.79, p.61-78, 1998.
- VALADÃO, C. E. A.; CARVALHO, L. M. V.; LUCIO, P. S.; CHAVES, R. R., Impacts of the Madden-Julian oscillation on intraseasonal precipitation over Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, p.1859–1884, 2017.
- VAN DER WIEL K; MATTHEWS AJ; STEVENS DP; JOSHI MM A dynamical framework for the origin of the diagonal South Pacific and South Atlantic Convergence Zones. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.141, n.691, p. 1997-2010, 2015.
- VASCONCELLOS, F.C.; CAVALCANTI, I.F.A., Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere annular mode. **Atmospherical Science Letters**, v.11, p.21–26, 2010a.
- VASCONCELLOS, F.C.; CAVALCANTI, I.F.A., Uma avaliação das previsões do modelo regional Eta em alta resolução para dois casos de precipitação intensa ocorridos na região da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25,p. 287–294, 2010b.
- VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Américas. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, D8, p. 959-9613, 1987.
- VERA, C. S.; VIGLIAROLO, P. K.; BERBERY, E. H. Cold season synoptic-scale waves over subtropical South America. **Monthly Weather Review**, v. 130, p. 684-699, 2002.
- VERA, C., et al. Toward a unified view of the American Monsoon Systems. **Journal of Climate**, v.19, p.4977-5000, 2006.
- VERA, C.; ALVAREZ, M. S.; GONZALEZ, P. L. M.; LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N. Seasonal cycle of precipitation variability in South America on intraseasonal timescales. **Climate Dynamics**, p. 1-11, 2014. DOI 10.1007/s00382-017-3994-1, 1-11.
- VINCENT, D. G. The South Pacific Convergence Zone (SPCZ): a review, **Monthly Weather Review**, v.122, p.1949–1970, 1994.
- VITORINO, M. I. **Análise das oscilações intrasazonais sobre a América do Sul e oceanos adjacentes utilizando a análise de ondaletas**. 2002. 344 p. (INPE-9822-TDI/865). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.
- VON STORCH, et. Al. Principal oscillation pattern analysis of the 30 to 60 day oscillation in a General Circulation Model equatorial troposphere. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, p.11022-11036, 1988.

VON STORCH, H., XU, J. Principal oscillation pattern analysis of the 30- to 60-day oscillation in the tropical troposphere Part I: definition of an index and its prediction. **Climate Dynamics**, v.4., p.175-190, 1990.

WALLACE, J. M.; GUTZLER, D. S. Teleconnections in the geopotential height fields during the Northern Hemisphere Winter. *Monthly Weather Review*, v.109, n.4, p. 784–812, Apr. 1981.

WALISER, E. W.; GAUTIER, E.C A satellite-derived climatology of the ITCZ. **Journal of Climate**, v.6, p.2162-2174, 1993.

WENG, H. LAU, K.M. Wavelets, period doubling, and timefrequency localization with application to organization of convection over the Tropical Western Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, Boston, v. 51, n. 17, p. 2523-2541, 1994.

WILKS. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego: Academic Press, 2011.

WIIN-NIELSEN, A. CHEN, T.C. **Fundamentals of atmospheric energetics**. New York: Oxford University Press, 376 p, 1993.

ZHANG, C. Madden-Julian oscillation. **Reviews of Geophysics**, 43, RG2003, 2005. DOI: 10.1029 /2004RG000158.

ZHANG, C. Madden-Julian Oscillation: bridging weather and climate. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 94, p.1849–1870, 2013. DOI:10.1175/BAMS-D-12-00026.1, 2013.

ZIPSER, E.J., CECIL, D.J.; LIU, C.; NESBITT., S.W.; YORTY, D. P.. Where are the most intense thunderstorms on earth? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.87, p. 1057-1071, 2006.

