



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/06.19.04.18-TDI

**CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS  
QUASE-ESTACIONÁRIAS NO HEMIFÉRIO SUL E  
INTERAÇÕES COM ANOMALIAS CLIMÁTICAS**

Lizandro Gemiacki

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs. Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalvanti, e Vadlamudi Brahmananda Rao, aprovada em 27 de fevereiro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3C5K9TB>>

INPE  
São José dos Campos  
2012

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**

### **Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **Membros:**

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr<sup>a</sup> Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

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

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/06.19.04.18-TDI

**CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS  
QUASE-ESTACIONÁRIAS NO HEMIFÉRIO SUL E  
INTERAÇÕES COM ANOMALIAS CLIMÁTICAS**

Lizandro Gemiacki

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs. Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalvanti, e Vadlamudi Brahmananda Rao, aprovada em 27 de fevereiro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3C5K9TB>>

INPE  
São José dos Campos  
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Gemiacki, Lizandro.

G284c Características das ondas quase-estacionárias no hemifério sul e interações com anomalias climáticas / Lizandro Gemiacki. – São José dos Campos : INPE, 2012.

xxviii + 189 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/06.19.04.18-TDI)

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

Orientadores : Drs. Iracema Fonseca de Albuquerque Cavalcanti, e Vadlamudi Brahmananda Rao.

1. ondas quase-estacionárias. 2. anomalias climáticas. 3. interação. 4. amplitudes. 5. variabilidade. I. Título.

CDU 551.513.11(215-13)

---

Copyright © 2012 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2012 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

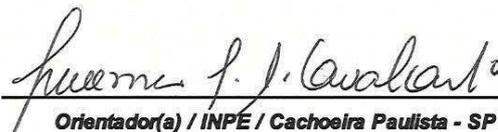
Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de **Doutor(a)** em  
**Meteorologia**

Dr. Dirceu Luis Herdies



Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dra. Iracema Fonseca de Albuquerque  
Cavalcanti



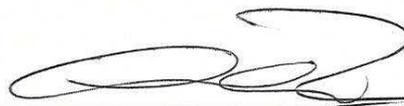
Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Clóvis Angeli Sansigolo



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dra. Gabriela Viviana Müller



Convidado(a) / CONICET / Buenos Aires - AR

Dr. Tércio Ambrizzi



Convidado(a) / USP / São Paulo - SP

**Este trabalho foi aprovado por:**

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Lizandro Gemiacki**

**São José dos Campos, 27 de Fevereiro de 2012**



*“Eis aqui um teste para verificar se a sua missão na Terra está cumprida: Se você está vivo, não está.”*

RICHARD BACH  
em *“Ilusões - As Aventuras de Um Messias Indeciso”*, 1977



*Aos meus pais Silvino e Alexandra, às minhas filhas Lixia  
e Alicia e à minha esposa Vania*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus pais Silvino, um serrador por vezes desempregado e Alexandra Gemiacki, uma empregada doméstica, pelos seus sacrifícios e pelas suas dedicações e empenhos na minha formação profissional e moral.

A minha esposa Vania pelo apoio e companheirismo, a minhas filhas Lizia e Alicia pela pureza e por suas brincadeiras.

A todos os colegas que de alguma forma contribuíram para que esta tese fosse concluída, em especial aos colegas da UFPel, da UFAL e do INPE.

Agradeço à Dr<sup>a</sup> Maria Paullete, à Simone e ao Cesar, pelo suporte.

Aos colegas de trabalho do INMET em especial aos do 5<sup>o</sup> Distrito de Meteorologia pelo apoio.

Aos membros da Banca pelas colaborações.

Gostaria de agradecer ao Dr. V.B. Rao pelas boas aulas, por contribuir com a tese e por compartilhar o seu grande conhecimento.

Gostaria de agradecer especialmente à Dr<sup>a</sup> Iracema, por sua imensa ajuda, colaboração e paciência na elaboração da tese, sem o seu apoio e compreensão, com certeza este trabalho não seria concluído.

Agradeço ao CNPQ e a Capes pelo suporte financeiro durante parte do trabalho.



## RESUMO

Utilizando-se dados de reanálise 2 NCEP-DOE para o período de 1979 a 2006, foram estudadas as características climatológicas, a variabilidade interanual, intrasazonal e mensal das ondas quase-estacionárias no Hemisfério Sul (HS). As análises foram realizadas a partir da decomposição em componentes da série de Fourier, do geopotencial em vários níveis da atmosfera. As ondas quase-estacionárias 1, 2 e 3 em geral apresentaram características semelhantes às apresentadas em estudos anteriores, porém detalhando seus comportamentos mensais com relação à amplitude e estruturas zonal, latitudinal e vertical. Com uma análise mais detalhada das características climatológicas das ondas de 1 a 4, foi observado que as ondas quase-estacionárias 3 e 4 são importantes na caracterização das circulações de verão da América do Sul, representando quase que totalmente o sistema Alta da Bolívia na presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul. A onda 4 especialmente apresenta uma configuração muito parecida com a Zona de Convergência do Atlântico Sul, com uma orientação noroeste-sudeste sobre a América do Sul. Outras 3 regiões no HS com características semelhantes foram identificadas nas regiões das outras zonas de convergência do HS: Zona de Convergência do Pacífico Sul, Zona de Convergência do Índico e uma zona de Convergência próxima à Austrália. No estudo da variabilidade, as ondas de 1 a 4 apresentaram grande variabilidade mensal atingindo valores pequenos em alguns meses e valores elevados em outro. A fase das ondas próximo à América do Sul foi analisada e também foi observada grande variabilidade durante os meses e os anos, indicando que em um mesmo mês, é possível que em um ano atue a fase positiva da onda e em outro a fase negativa. Essa variabilidade pode ter impacto nas anomalias climáticas do HS. Com o fim de analisar os efeitos das diferentes fases das ondas sobre a América do Sul e oceanos adjacentes, foi feita uma seleção de casos com grandes anomalias na amplitude, os quais foram agrupados em compostos. As configurações identificadas nos compostos sugerem que a onda 1 e 2 tem interação com fenômenos de El Niño e La Niña. A onda 3 tem uma relação com anomalias positivas de precipitação sobre o norte e o nordeste do Brasil e anomalias negativas sobre o sul do Brasil no verão e no outono. As ondas 1, 2 e 3 também apresentaram relação com anomalias de temperatura em baixos níveis próximo à região Antártica. A onda 4 mostrou uma relação com as anomalias de precipitação no sul, sudeste e centro-este do Brasil na primavera e no verão. Neste estudo foram apresentadas as características complementares das ondas quase-estacionárias sobre o Hemisfério Sul, com uma análise detalhada da amplitude, estrutura zonal e vertical em todos os meses do ano. Foram destacados os efeitos das ondas 3 e 4 nas circulações de verão da América do Sul, além das interações entre as anomalias nas ondas e as anomalias climáticas.



# FEATURES OF QUASI-STATIONARY WAVES IN THE SOUTHERN HEMISPHERE AND INTERACTIONS WITH CLIMATE ANOMALIES

## ABSTRACT

The climatological characteristics of quasi-stationary waves in the Southern Hemisphere, as well as their variability and relations with the atmospheric circulation over South America were studied using the NCEP-DOE reanalyses 2, for the period 1976-2006. The analyses were performed through the decomposition of the geopotential in the Fourier series components. The quasi-stationary waves 1, 2 and 3 presented similar characteristics than those shown in previous studies, however, with details of the monthly behaviour in relation to amplitude and zonal, meridional and vertical structures. The analyses of waves 1 to 4, revealed that waves 3 and 4 are important in characterizing the Summer circulation over South America, representing large part of the Bolivian High and the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) systems. The wave 4 displays a pattern very similar to the SACZ, with a NW-SE tilting over South America. The other 3 regions which display similar features are located in the regions of the other convergence zones in the SH: the South Pacific Convergence Zone (SPCZ), the Indian Convergence Zone : ICZ and a convergence zone near Austrália. In the variability analysis, the waves 1 to 4 presented large monthly variability, reaching small amplitudes in some months and great values in others. The phases of the waves were analyzed near South America and a large variability was observed during the months and years. In one year a positive phase can be established during a certain month in that region and in another year, the same month can display a negative phase in the same region. This variability can have impacts on SH climate anomalies. In order to analyze the effect of different phases of waves over South America and adjacent oceans, cases with large amplitude anomalies were selected and analyzed in composites. The patterns identified in the composites suggest that the waves 1 and 2 have interactions with El Nino and La Nina phenomenon. Wave 3 has a relation with positive precipitation anomalies over North and Northeastern Brazil and negative anomalies over southern Brazil, in the summer and autumn. The waves 1, 2 and 3 also presented relations with the low level temperature near Antarctica. Wave 4 showed a relation with precipitation anomalies in the south, southeast and central-west Brazil in the springer and summer. In this study, complementary features of the quasi-stationary waves in the SH were discussed, with a detailed analysis of the amplitude and zonal, meridional and vertical structures of the waves, for each month. The effect of waves 3 and 4 in the summer circulation over South America were emphasized, as well as the interaction between the anomalous waves and climate anomalies.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
4.1 Amplitude das 4 principais OE em 30°S, 45°S e 60°S, em 200 hPa (mgp).	18
4.2 Percentagem da variância das 4 principais OE em 30°S, 45°S e 60°S em 200 hPa. . . . .	19
4.3 Amplitude somada das ondas 1 a 4 em 200 hPa (mgp). . . . .	20
4.4 Amplitude das ondas 1, 2, 3 e 4 em 200hPa (mgp). . . . .	21
4.5 Amplitude climatológica total das OES no HS (mgp). . . . .	22
4.6 Amplitude climatológica da OE 1 no HS (mgp). . . . .	23
4.7 Amplitude climatológica da OE 2 no HS (mgp). . . . .	24
4.8 Amplitude climatológica da OE 3 no HS (mgp). . . . .	25
4.9 Amplitude climatológica da OE 4 no HS (mgp). . . . .	26
4.10 Anomalia zonal do geopotencial em 200 hPa no HS (mgp). . . . .	31
4.11 OE 1 no HS em 200hPa (mgp). . . . .	32
4.12 OE 2 no HS em 200hPa (mgp). . . . .	33
4.13 OE 3 no HS em 200hPa (mgp). . . . .	34
4.14 OE 4 no HS em 200hPa (mgp). . . . .	35
4.15 Anomalia zonal do geopotencial em 200 hPa sobre a região da AS (mgp).	36
4.16 OE 1 na AS em 200hPa (mgp). . . . .	37
4.17 OE 2 na AS em 200hPa (mgp). . . . .	38
4.18 OE 3 na AS em 200hPa (mgp). . . . .	39
4.19 OE 4 na AS em 200hPa (mgp). . . . .	40
4.20 Variabilidade mensal da Amplitude climatológica total das OES no HS (mgp). . . . .	41
4.21 Variabilidade mensal da Amplitude climatológica da OE 1 (mgp) no HS e a percentagem de sua representatividade relativa ao campo total. . . .	42
4.22 Variabilidade mensal da Amplitude climatológica da OE 2 (mgp) no HS e a percentagem de sua representatividade relativa ao campo total. . . .	42
4.23 Variabilidade mensal da Amplitude climatológica da OE 3 (mgp) no HS e a percentagem de sua representatividade relativa ao campo total. . . .	43
4.24 Variabilidade mensal da amplitude climatológica da OE 4 (mgp) no HS e a percentagem de sua representatividade relativa ao campo total. . . .	43
4.25 Evolução mensal da anomalia zonal do geopotencial em 30°S em 200hPa (mgp). . . . .	44
4.26 Evolução mensal da amplitude e fase das OEs 1, 2, 3 e 4 em 30°S em 200hPa (mgp). . . . .	45

4.27	Evolução mensal da anomalia zonal do geopotencial em 45°S em 200hPa (mgp). . . . .	46
4.28	Evolução mensal da amplitude e fase das OEs 1, 2, 3 e 4 em 45°S em 200hPa (mgp). . . . .	46
4.29	Evolução mensal da anomalia zonal do geopotencial em 60°S em 200hPa (mgp). . . . .	47
4.30	Evolução mensal da amplitude e fase das OEs 1, 2, 3 e 4 em 60°S em 200hPa (mgp). . . . .	47
4.31	Estrutura vertical da anomalia zonal do geopotencial em 30°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	49
4.32	Estrutura vertical OE 1 em 30°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	50
4.33	Estrutura vertical OE 2 em 30°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	51
4.34	Estrutura vertical OE 3 em 30°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	52
4.35	Estrutura vertical OE 4 em 30°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	53
4.36	Estrutura vertical da anomalia zonal do geopotencial em 45°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	54
4.37	Estrutura vertical OE 1 em 45°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	55
4.38	Estrutura vertical OE 2 em 45°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	56
4.39	Estrutura vertical OE 3 em 45°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	57
4.40	Estrutura vertical OE 4 em 45°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	58
4.41	Estrutura vertical da anomalia zonal do geopotencial em 60°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	59
4.42	Estrutura vertical OE 1 em 60°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	60
4.43	Estrutura vertical OE 2 em 60°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	61
4.44	Estrutura vertical OE 3 em 60°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp). . . . .	62
4.45	Gráficos das amplitudes das OEs 1 a 4 do geopotencial em 200 hPa (mgp), OLR (W/m <sup>2</sup> ) e temperatura em 1000 hPa (°C). . . . .	65
5.1	Variabilidade interanual da amplitude da OE 1 no HS em 200 hPa (mgp). . . . .	69
5.2	Variabilidade interanual da amplitude da OE 2 no HS em 200 hPa (mgp). . . . .	70
5.3	Variabilidade interanual da amplitude da OE 3 no HS em 200 hPa (mgp). . . . .	71
5.4	Variabilidade interanual da amplitude da OE 4 no HS em 200 hPa (mgp). . . . .	72
5.5	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em 30°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	74
5.6	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de março, abril e maio em 30°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	75

5.7	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de junho, julho e agosto em 30°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	76
5.8	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de setembro, outubro e novembro em 30°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	77
5.9	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em 45°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	78
5.10	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de março, abril e maio em 45°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	79
5.11	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de junho, julho e agosto em 45°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	79
5.12	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de setembro, outubro e novembro em 45°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	80
5.13	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em 60°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	81
5.14	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de março, abril e maio em 60°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	82
5.15	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de junho, julho e agosto em 60°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	83
5.16	Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de setembro, outubro e novembro em 60°S, as barras indicam o desvio padrão. . . . .	83
5.17	Variabilidade da amplitude e fase, somada das ondas 1 a 4 em 30°S, 60°W e 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos. . . . .	85
5.18	Variabilidade da amplitude e fase das ondas 1 a 4 em 30°S, 60°W, em 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos.	86
5.19	Variabilidade da amplitude e fase somada das ondas 1 a 4 em 45°S, 60°W e 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos.	87

5.20	Variabilidade da amplitude e fase das ondas 1 a 4 em 45°S, 60°W, em 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos.	87
5.21	Variabilidade da amplitude e fase somada das ondas 1 a 4 em 60°S, 60°W e 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos.	88
5.22	Variabilidade da amplitude e fase das ondas 1 a 4 em 60°S, 60°W, em 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos.	88
5.23	Modo dominante de variabilidade da onda 1 nos 12 meses do ano. . . . .	90
5.24	Modo dominante de variabilidade da onda 2 nos 12 meses do ano. . . . .	91
5.25	Modo dominante de variabilidade da onda 3 nos 12 meses do ano. . . . .	92
5.26	Modo dominante de variabilidade da onda 4 nos 12 meses do ano. . . . .	93
6.1	Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.5. . . . .	100
6.2	Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.5. . . . .	101
6.3	Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de outono (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.5. . . . .	102
6.4	Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de outono (linhas) e média das anomalias temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.5. . . . .	103
6.5	Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de inverno (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.5. . . . .	104
6.6	Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de inverno (linhas) e média das anomalias temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.5. . . . .	105
6.7	Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de primavera (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.5. . . . .	106
6.8	Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de primavera (linhas) e média das anomalias de temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.5. . . . .	107
6.9	Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.6. . . . .	110

6.10	Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias de temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.6. . . . .	111
6.11	Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de outono (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.6. . . . .	112
6.12	Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de outono (linhas) e média das anomalias de temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.6. . . . .	113
6.13	Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de inverno (linhas) e média das anomalias de temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.6. . . . .	114
6.14	Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de primavera (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.6. . . . .	115
6.15	Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de primavera (linhas) e média das anomalias de temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.6. . . . .	116
6.16	Compostos para a OE 3 em 200hPa (mgp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.7. . . . .	118
6.17	Compostos para a OE 3 em 200hPa (mgp) para os meses de outono (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.7. . . . .	119
6.18	Compostos para a OE 4 em 200hPa(mgp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.8. . . . .	121
6.19	Anomalia de geopotencial (mgp) em 200 hPa para os meses Dezembro 2004 e Dezembro 2005 e anomalia de precipitação (mm/mês). . . . .	123
6.20	Anomalia de geopotencial (mgp) em 200 hPa para os meses Janeiro 1994 e Janeiro 2001 e anomalia de precipitação (mm/mês). . . . .	124
6.21	Campos para o mês de fevereiro de 2005 (a) anomalia de precipitação (mm), (b) anomalia de pressão PNM (hPa), (c) anomalia de omega em 500 hPa (Pa/s) e (d) anomalia do fluxo de umidade integrado verticalmente (Kg/m.s). . . . .	126
6.22	(a) anomalia de geopotencial em 200 hPa no HS, (b) anomalia zonal de geopotencial durante os dias 13 a 22 de fevereiro de 2005 e (c) anomalia zonal de geopotencial durante os dias 23 a 28 de fevereiro de 2005 (mgp)	127

6.23	Porcentagem de amplitude total da anomalia zonal de geopotencial para cada as OE 1 a 10 em Fevereiro de 2005 e climático (mgp). . . . .	128
6.24	Variabilidade interanual da amplitude (a) OE 3 em 60°S, (b) OE 6 em 3°S e (c) OE 8 em 30°S (mgp) . . . . .	131
6.25	Estrutura vertical da OE 3 em fevereiro de 2005 (a), OE 3 em 200 hPa (b) (mgp). . . . .	132
6.26	Estrutura vertical da OE 6 (a), da OE 8 (b). OE 6 em 200 hPa (c) e OE 8 em 200 hPa (mgp). . . . .	133
6.27	(a) anomalia de TSM (°C), (b) anomalia de ROL (w/m <sup>2</sup> ) e (c) anomalia das linhas de corrente em 200 hPa (m/s). . . . .	134
A.1	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de verão da OE 1, conforme Tabela 6.5. . . . .	151
A.2	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de outono da OE 1, conforme Tabela 6.5. . . . .	152
A.3	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de inverno da OE 1, conforme Tabela 6.5. . . . .	152
A.4	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de inverno da OE 1, conforme Tabela 6.5. . . . .	153
A.5	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de verão da OE 2, conforme Tabela 6.6. . . . .	153
A.6	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de outono da OE 2, conforme Tabela 6.6. . . . .	154
A.7	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de inverno da OE 2, conforme Tabela 6.6. . . . .	154
A.8	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de primavera da OE 2, conforme Tabela 6.6. . . . .	155
A.9	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de verão da OE 3, conforme Tabela 6.7. . . . .	155
A.10	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de outono da OE 3, conforme Tabela 6.7. . . . .	156
A.11	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de inverno da OE 3, conforme Tabela 6.7. . . . .	156
A.12	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de primavera da OE 3, conforme Tabela 6.7. . . . .	156
A.13	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de verão da OE 4, conforme Tabela 6.8. . . . .	157
A.14	Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de outono da OE 4, conforme Tabela 6.8. . . . .	157

A.15 Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de inverno da OE 4, conforme Tabela 6.8. . . . .	157
A.16 Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de primavera da OE 4, conforme Tabela 6.8. . . . .	158
A.17 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de verão da OE 1, conforme Tabela 6.5. . . . .	159
A.18 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de outono da OE 1, conforme Tabela 6.5. . . . .	160
A.19 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de inverno da OE 1, conforme Tabela 6.5. . . . .	160
A.20 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de primavera da OE 1, conforme Tabela 6.5. . . . .	161
A.21 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de verão da OE 2, conforme Tabela 6.6. . . . .	161
A.22 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de outono da OE 2, conforme Tabela 6.6. . . . .	162
A.23 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de inverno da OE 2, conforme Tabela 6.6. . . . .	162
A.24 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de primavera da OE 2, conforme Tabela 6.6. . . . .	163
A.25 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de verão da OE 3, conforme Tabela 6.7. . . . .	163
A.26 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de outono da OE 3, conforme Tabela 6.7. . . . .	164
A.27 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de inverno da OE 3, conforme Tabela 6.7. . . . .	164
A.28 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de primavera da OE 3, conforme Tabela 6.7. . . . .	165
A.29 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de verão da OE 4, conforme Tabela 6.8. . . . .	165
A.30 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de outono da OE 4, conforme Tabela 6.8. . . . .	166
A.31 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de inverno da OE 4, conforme Tabela 6.8. . . . .	166
A.32 Média das anomalias mensais de TSM (°C) para os compostos de primavera da OE 4, conforme Tabela 6.8. . . . .	167



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
5.1 Variância explicada pelo primeiro modo de variabilidade das ondas 1 a 4.	89
6.1 Casos de máxima amplitude OE 1 no HS em 200 hPa (mgp). . . . .	95
6.2 Casos de máxima amplitude OE 2 no HS em 200 hPa (mgp). . . . .	96
6.3 Casos de máxima amplitude OE 3 no HS em 200 hPa (mgp). . . . .	96
6.4 Casos de máxima amplitude OE 4 no HS em 200 hPa (mgp). . . . .	97
6.5 Fase da OE 1 para os casos de amplitude máxima da tabela 6.1. . . . .	97
6.6 Fase da OE 2 para os casos de amplitude máxima da tabela 6.2. . . . .	108
6.7 Fase da OE 3 para os casos de amplitude máxima da tabela 6.3. . . . .	117
6.8 Fase da OE 4 para os casos de amplitude máxima da tabela 6.4. . . . .	120



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OEs	– Ondas Quase-estacionárias
HS	– Hemisfério Sul
AS	– América do Sul
AB	– Alta da Bolívia
ZCAS	– Zona de Convergência do Atlântico Sul
PNA	– Pacífico América do Norte
GPCP	– Global Precipitation Climatology Project
MCG	– Modelo de Circulação Geral
TSM	– Temperatura da superfície do mar
ENOS	– El Niño Oscilação Sul
ZCTS	– Zona de Convergência Sub-Tropical
PAS	– Pacífico América do Sul
GPCP	– Global Precipitation Climatology Project
NCEP-DOE	– National Centers for Environmental Prediction-Department of Energy
NCEP-NCAR	– National Centers for Environmental Prediction-National Center for – Atmospheric Research
PNM	– Pressão ao Nível do Mar
ROL	– Radiação de Onda Longa
mgp	– metro geopotencial
hPa	– hecto pascal
ZCPS	– Zona de convergência do Pacífico Sul
ZCI	– Zona de convergência do Índico
VCAN	– Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
NOAA	– National Oceanic and Atmospheric Administration



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Objetivos . . . . .	2
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1 Características Gerais das OEs . . . . .	5
2.2 Interação entre sistemas meteorológicos e OEs . . . . .	8
2.3 Sumário . . . . .	12
<b>3 DADOS E METODOLOGIA</b> . . . . .	<b>13</b>
3.1 Dados . . . . .	13
3.2 Metodologia . . . . .	14
3.2.1 Ondas Quase-Estacionárias . . . . .	14
3.2.2 Série de Fourier . . . . .	14
3.2.3 Análise climatológica das Ondas Quase-Estacionárias . . . . .	14
3.2.4 Análise da Variabilidade das Ondas Quase-Estacionárias . . . . .	15
3.2.5 Análises Atmosféricas Associadas às Ondas Quase-Estacionárias com Grande Amplitude . . . . .	15
<b>4 CLIMATOLOGIA</b> . . . . .	<b>17</b>
4.1 Análise das amplitudes . . . . .	17
4.2 Estrutura Vertical das OEs 1 a 4 . . . . .	21
4.3 Configuração das OES no HS e na AS . . . . .	27
4.4 Variação mensal da amplitude e fase das OES . . . . .	41
4.5 Estrutura Vertical da Magnitude das OEs na Região da AS . . . . .	48
4.6 Considerações sobre as OEs sobre a AS e o papel da OE 4 na circulação de verão . . . . .	63
4.7 Sumário . . . . .	66
<b>5 VARIABILIDADE</b> . . . . .	<b>67</b>
5.1 Variabilidade Interanual e Latitudinal da Amplitude de cada OE para cada mês . . . . .	67
5.2 Variabilidade Interanual e Intrasazonal da Amplitude de cada OEs em 30°S . . . . .	73

5.3	Variabilidade Interanual e Intrasazonal da Amplitude de cada OEs em 45°S . . . . .	77
5.4	Variabilidade Interanual e Intrasazonal da Amplitude de cada OEs em 60°S . . . . .	81
5.5	Variabilidade da Fase das OEs próximo à América do Sul . . . . .	84
5.6	O modo dominante de variabilidade das ondas 1 a 4 . . . . .	89
5.7	Sumário . . . . .	94
<b>6</b>	<b>COMPOSTOS E CASOS . . . . .</b>	<b>95</b>
6.1	Compostos da OE 1 . . . . .	97
6.2	Compostos da OE 2 . . . . .	108
6.3	Compostos da OE 3 . . . . .	117
6.4	Compostos da OE 4 . . . . .	119
6.5	Casos Extremos de Fases Opostas da OE 4 e Relação com a Precipitação sobre a AS . . . . .	122
6.6	Caso de fevereiro de 2005 . . . . .	124
6.7	Sumário . . . . .	135
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>137</b>
7.1	Climatologia . . . . .	137
7.2	Variabilidade . . . . .	138
7.3	Compostos e Casos . . . . .	139
7.4	Sugestões para trabalhos futuros . . . . .	139
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b>	<b>141</b>
	<b>APÊNDICE A - Características complementares de anomalias médias referente aos compostos do capítulo 6. . . . .</b>	<b>151</b>
A.1	Presão ao Nível do Mar . . . . .	151
A.2	Temperatura da superfície do mar . . . . .	159
	<b>APÊNDICE B - ARTIGO SUBMETIDO . . . . .</b>	<b>169</b>
B.1	ARTIGO . . . . .	169

# 1 INTRODUÇÃO

A variabilidade climática tem um grande impacto nas atividades humanas em geral, influenciando diretamente os setores produtivos da sociedade, por exemplo, agrícola, energético, pesqueiro, industrial, entre outros. Apesar da existência de vários estudos para identificar possíveis padrões naturais de variabilidade, existem ainda muitos aspectos quanto à variabilidade da atmosfera que precisam ser investigados. Portanto, estudos da variabilidade do clima com base em dados observados devem ser continuamente realizados para um aprofundamento e extensão do conhecimento da influência da variabilidade no clima regional e global e a partir dessa compreensão, analisar resultados obtidos em Modelos de Circulação Geral (MCG) para verificar a habilidade dos mesmos em simular os aspectos observados.

Alguns eventos extremos têm acontecido na América do Sul (AS), com grandes impactos naturais e econômicos, como por exemplo as secas na Amazônia (MARENGO et al., 2008), no sudeste do Brasil em 2001 (FRANCHITO et al., 2008) e no sul do Brasil em 2005 (GEMIACKI et al., 2008) que segundo a defesa civil do Rio Grande do Sul (DEFESA CIVIL RIO GRANDE DO SUL, 2010) provocou a decretação de emergência em 377 municípios e atingiu mais de 6 milhões de pessoas, somente nesse estado.

Influências de episódios El Niño- Oscilação Sul (ENOS) na precipitação da AS tem sido identificadas por exemplo em estudos de Kousky et al. (1984), Grimm et al. (1998). Influências de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar do Oceano Atlântico Norte foram associadas às extremas secas que ocorreram na Amazônia em 2005 e 2010 (MARENGO et al., 2008; MARENGO et al., 2011). Esses eventos modificam a circulação atmosférica, causando anomalias nas células de Walker e de Hadley e também nos trens de onda associados às interações entre trópicos e extratropicos sobre o Pacífico e AS.

A importância de ondas quase-estacionárias (OEs) em casos de bloqueios sobre o Pacífico Sudeste, em eventos El Niño, foi discutida em Rao et al. (2002a). Relações entre bloqueios e OEs também foram discutidas em Trenberth e Mo (1985). Influências de anomalias das OEs em casos de secas ou enchentes nos Estados Unidos foram discutidas em Liu et al. (1998). Eles concluíram que as anomalias nas ondas tiveram contribuição de aquecimento diabático e também de forçantes transientes, por forçante de vorticidade. A compreensão do comportamento das OEs em casos como os citados, pode ser importante para compreender as interações e possíveis conexões com as anomalias climáticas.

As OEs estão associadas a uma circulação zonalmente assimétrica provocada por irregularidades na superfície da Terra, tais como orografia e contrastes térmicos entre oceanos e continentes, além de forçantes remotas, anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), cobertura do gelo marinho (RAPHAEL, 1998), forçantes transientes (QUINTANAR; MECHOSO, 1995b) e, segundo Wang e Ting (1999), principalmente ao aquecimento diabático. Essas OEs tem uma significativa variação mensal, tanto na amplitude como na estrutura espacial (WANG; TING, 1999).

No HS, as OEs estão associadas principalmente à orografia da Antártica, a forçantes térmicas associadas com contrastes de temperatura terra-mar, além de forçantes remotas via propagação de ondas de Rossby (WALLACE, 1983). Assimetrias nas TSM e distribuição do gelo marinho na Antártica também são consideradas forçantes de ondas estacionárias (RAPHAEL, 1998).

Embora o estudo das OEs tenha-se iniciado na década de 70, pouco se conhece das suas interações com as anomalias climáticas. Com as facilidades computacionais, vários modelos tem sido utilizados para fazer projeções climáticas e vários não simulam corretamente as OEs (FREITAS, 2011). Portanto, ainda deve-se compreender melhor as características e comportamento das OEs, sua variabilidade mensal e interanual, além das suas relações com as anomalias climáticas.

## 1.1 Objetivos

O objetivo principal é fazer um estudo detalhado da climatologia e da variabilidade das características mensais das ondas planetárias quase-estacionárias no Hemisfério Sul (HS), e identificar as principais relações com o clima da AS. As OEs têm relação com as anomalias nas variáveis atmosféricas, seja através de influências remotas, seja provocando efeitos de bloqueio ou diretamente pelo aquecimento diabático. Como anomalias em variáveis como precipitação e temperatura entre outras, tem influência nos setores produtivos na sociedade em geral, um dos focos deste estudo é compreender a relação entre anomalias nas OEs e anomalias climáticas na AS.

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Apresentar características climáticas complementares das OEs no HS enfatizando suas características sobre a AS.
- Investigar a variabilidade interanual, intrasazonal e mensal das OEs no HS com ênfase na AS.

- Investigar as interações entre as OEs e as anomalias climáticas persistentes no HS e na AS.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Características Gerais das OEs

Algumas características das OEs no HS já foram descritas. Porém, com a disponibilidade de novos conjuntos de dados mais recentes torna-se necessária a comparação de resultados e visualização de novas características das OEs. A seguir são apresentadas as principais características das OEs descritas na literatura.

Um dos estudos pioneiros sobre OEs no HS foi o de [van Loon e Jenne \(1972\)](#), que examinaram as ondas harmônicas zonais, utilizando médias de longo prazo de altura geopotencial da superfície até o nível de 100 mb e o campo diário de altura geopotencial em 500 mb. Seus resultados mostraram que as ondas com número de onda zonal 1, 2 e 3 explicam grande parte do campo estacionário. Em latitudes extratropicais a onda 1 tem um pico em regiões subpolares e outro nos sub-trópicos. A crista da região subpolar é localizada sobre a região do oceano Pacífico e a crista da região subtropical situa-se sobre a região do oceano Atlântico. A fase muda próximo a 40°S, onde a amplitude tende a zero. No verão a onda é mais intensa próximo à tropopausa, enquanto no inverno ela continua a crescer até a estratosfera. A onda 2 tem uma grande componente estacionária sobre a Antártica com suas cristas sobre as partes altas do oeste e leste da Antártica. A onda 3 é bem definida entre 25°S e 60°S em todos os meses, com cristas localizadas próximo à AS, África e Oceania em latitudes baixas.

Características importantes das OEs no HS foram apresentadas por ([HARTMANN, 1977](#)). Nesse estudo, as ondas 1, 2 e 3 apresentaram amplitudes significantes, a onda 2 teve amplitude maior que em estudos anteriores, a variação meridional da fase das ondas 1 e 2 no campo de altura foram opostamente direcionados, característica que indica transporte de momentum em direção ao polo pela onda 1 e em direção ao equador pela onda 2. Os resultados referentes a onda 3 mostraram ser consistentes com os resultados de [van Loon e Jenne \(1972\)](#), ressaltando que as diferenças entre as amplitudes observadas principalmente em julho e agosto, indicam grande variabilidade de baixa frequência nessa onda.

[Trenberth \(1980\)](#) usando uma série maior de dados observou que as ondas 1 e 3 tinham amplitudes comparáveis àquelas observadas por [van Loon e Jenne \(1972\)](#) e explicavam grande parte da variância do campo de geopotencial em 500 hPa. Suas análises mostraram que flutuações das ondas 1 a 3 nos subtrópicos (entre 25-35°S) eram acopladas à Oscilação Sul e que flutuações na posição e amplitude das OEs

determinavam a extensão de bloqueios na região da Nova Zelândia e, portanto, forçavam regimes persistentes de tempo associados com grandes anomalias de precipitação e temperatura.

Características das OEs no HS foram estudadas por [Karoly \(1985\)](#), que concluiu que em geral, as OEs no HS tem um grande escala de comprimento zonal e uma curta escala de comprimento meridional e uma estrutura vertical barotrópica equivalente. Seus resultados também sugeriram que a orografia e forçantes térmicas associadas com assimetrias zonais da Antártica são as maiores forçantes de OEs no HS.

Em um modelo forçado pela topografia e por fontes e sumidouros de calor no HS, [Vianello \(1980\)](#), obteve em suas simulações o predomínio das OEs 3 e 4 nas latitudes médias e das ondas 1 e 2 nas altas latitudes. [Baines e Fraedrich \(1989\)](#) também em experimento numérico observaram a formação de uma OE 1 e de uma OE 3, associadas a topografia da Antártica. [Hansen e Sutera \(1988\)](#) estudaram a bimodalidade da onda 3 no HS, isto é, a variação entre um padrão amplificado de onda planetária e outro com um fluxo predominantemente zonal. Eles sugerem que esse tipo de variação de fluxo, pode ser indiretamente relacionada ao ciclo anual da temperatura da superfície nos subtropicais do HS e em baixas latitudes, onde as principais massas continentais do HS ocorrem. A onda 3 foi associada a teleconexões relacionadas ao ENOS no HS por [Mo e White \(1985\)](#)

Interações entre a onda 1 estacionária e a onda 2 propagando para oeste foram identificadas em um padrão de dipolo em [Hartmann et al. \(1984\)](#). Interações entre a onda 1 e 2 também são destacadas no estudo de [Hio e Yoden \(2004\)](#), onde foi observada que a interação entre essas ondas tem relação com a variação quase-periódica do vórtice polar.

Um estudo mais completo sobre o comportamento das OEs sobre o HS foi feito por [Quintanar e Mechoso \(1995a\)](#), os quais confirmaram que a componente de número de onda zonal 1 é dominante nos campos de geopotencial na troposfera e na estratosfera do HS. Nas análises dessa onda, encontraram que a amplitude da onda 1 é aproximadamente constante no tempo, excluindo-se um período de intenso crescimento durante a primavera, particularmente na alta troposfera e estratosfera. Mencionaram ainda que forçantes remotas parecem ter um papel importante na geração e na manutenção da onda 1 em altas latitudes durante o inverno e a primavera. Além disso, mencionaram que os transientes de baixa frequência atuam para fortalecer a onda 1, e os transientes de alta frequência agem no sentido de enfraquecer a onda 1, em latitudes subtropicais. Entretanto, nas latitudes polares, ambos transientes de baixa

e de alta frequência atuam no sentido de enfraquecer o campo quase-estacionário.

Fernandez (2004), fez um estudo sobre as OEs no HS utilizando 49 anos de dados e analisou o comportamento das OEs 1, 2 e 3, mostrando que durante o verão essas ondas ficam confinadas na troposfera e conforme evolui o ano, as ondas 1 e 2 propagam-se para a baixa estratosfera, com máximos durante a primavera. Os resultados obtidos nesse trabalho utilizando essa série maior de dados, confirmaram os resultados obtidos com séries menores (como por exemplo Quintanar e Mechoso (1995a)), destacando-se que a amplificação das OEs em eventos de El Niño favorecem a alta frequência de bloqueios e que em eventos La Niña favorecem a baixa frequência de bloqueios no Pacífico Sul. Rao et al. (2004) analisando a diferença entre anos de El Niño e La Niña mostraram que durante anos de El Niño há um acréscimo da amplitude da OE 1 no inverno e na primavera em altas latitudes, principalmente na estratosfera.

Os resultados de dados observacionais sugerem que os efeitos de eddies transientes e forçantes térmicas de baixas latitudes contribuem para mudanças na amplitude do campo de ondas quase-estacionárias no HS (QUINTANAR; MECHOSO, 1995b). A interação entre ondas longas e ondas de escala sinótica também foram destacadas em estudo de Ebisuzaki (1989a), Ebisuzaki (1989b), o qual concluiu que os fluxos devidos as ondas de escala sinótica não estão em fase com as ondas longas e podem adicionar ou reduzir energia baroclínica da onda longa.

A OE 1 foi estudada por Hobbs e Raphael (2007), o qual indicou que a OE 1 nas regiões subtropical e subpolar são claramente relacionadas e evidenciam que a OE 1 representa uma possível importante teleconexão entre os trópicos e as altas latitudes do HS. A análise com TSM indicou que ambas, intensidade e a localização da OE 1 representam um modo de variabilidade do clima acoplado do oceano e da atmosfera. Anomalias positivas persistentes no campo de altura geopotencial em 500 hPa foram associadas aos padrões de onda zonal 1 e 3, caracterizando eventos de bloqueio, cuja variabilidade foi fortemente associada a fenômeno ENOS (RENWICK, 2005).

Características das OEs em resultados de simulações climáticas com modelos foram analisadas por Freitas (2011), que concluiu que alguns modelos ainda tem deficiências em simular corretamente as características das OEs. Seus resultados sugerem que modificações no clima irão alterar o padrão das OEs com a possível consequência da ampliação da célula de Hadley e conseqüentemente uma ampliação das zonas áridas subtropicais.

## 2.2 Interação entre sistemas meteorológicos e OEs

Vários sistemas meteorológicos têm características quase-estacionárias. No HS é possível citar eventos de bloqueios e os sistemas associados à precipitação no verão sobre os continentes. Esses sistemas têm uma relação com as OEs, por exemplo, as Altas em altos níveis sobre os continentes e as Zonas de Convergência no HS sendo mais intensas, tendem a liberar mais calor latente para a atmosfera, aumentando a convecção, e agindo como um feedback para intensificar os mesmos sistemas.

As Zonas de Convergência Subtropicais (ZCST) aparecem onde duas condições quase-estacionárias são satisfeitas: (a) o fluxo de baixos níveis em direção ao polo predomina na periferia oeste das altas subtropicais e (b) o fluxo meridional mais intenso no jato subtropical de altos níveis em latitudes subtropicais (entre 30°-35°). Sobre as áreas onde uma ou as duas dessas condições quase-estacionárias não são satisfeitas, não há presença de ZCST, ou somente uma fraca e ampla área de precipitação aparece nos subtrópicos. Além disso, as ZCST são enfraquecidas quando uma ou ambas das duas condições não são satisfeitas (KODAMA, 1993). Portanto, é possível inferir que as condições quase-estacionárias devem ter relação com as OEs que provavelmente tem relação com a estacionaridade das correntes de jato, e com a intensidade das altas subtropicais.

Sobre a AS, o estabelecimento da Alta da Bolívia e a geração do cavado a leste, como sistemas estacionários, resultante da intensa precipitação de verão sobre o continente foram discutidos por Lenters e Cook (1997). A influência da cordilheira dos Andes no estabelecimento de um cavado estacionário a leste, foi mostrada em Satyamurty et al. (1980) em experimentos com um modelo barotrópico. Os feedbacks entre precipitação e circulação atmosférica tornam difíceis as avaliações de causas e consequências.

Kalnay et al. (1986) estudaram OEs de grande amplitude e número de onda sete que foram geradas por anomalias na temperatura do mar e pela convecção tropical, ressaltando que a convecção é importante nas ondas subtropicais para manter a amplitude e a fase, e uma circulação tipo Walker associada com a ZCPS também contribui para a manutenção das ondas sobre a AS. Circulações de verão sobre a AS também são consideradas ondas estacionárias por Chen et al. (1999). Esses autores consideraram um regime de OEs de onda 1-6 como gerador do sistema Alta da Bolívia-Cavado Atlântico/nordeste do Brasil e que o regime de onda longa com centro sobre o Pacífico Tropical tem o efeito de forçar remotamente esse sistema. Uma OE 6 também foi associada à intensificação da ZCAS no verão de 1987-88 por Figueroa (1997).

A resposta das ondas planetárias ao aquecimento tropical estacionário, foi estudado por [Kasahara e Dias \(1986\)](#), que observaram que as modificações nas ondas planetárias pelo aquecimento tropical estacionário não ficam restritas à região tropical e tem influência na intensidade das ondas planetárias em médias e altas latitudes. Em estudo de teleconexões, [Trenberth et al. \(1998\)](#) destacaram que anomalias de TSM associadas ao ENOS modificam as regiões de storm tracks que tem uma interação dinâmica com o fluxo quase-estacionário em latitudes extratropicais, portanto podendo provocar anomalias climáticas.

[Karoly et al. \(1989\)](#) obtiveram resultados que indicam que processos de latitudes médias, tais como instabilidades na corrente de jato ou a interação com eddies transientes são os maiores mecanismos para forçar anomalias nas OEs, ressaltando a estreita relação entre OEs e eddies transientes (também destacada por [Cuff e Cai \(1995\)](#)).

Distúrbios transientes são citados como essenciais na formação das ondas quase-estacionárias planetárias através da interação entre ondas, por [Itoh \(1985\)](#). [Randel e Stanford \(1985\)](#) destacou que as ondas estacionárias e transientes exibem características de interferência, incluindo correlação de fase e amplitude da onda, crescimento barotrópico da onda e decaimento baroclínico. [Qin e Robinson \(1992\)](#) destacam que eddies barotrópicos lineares propagam através de um estado básico ondulado, e que são distorcidos devido ao transporte de vorticidade em ambos cavados corrente acima das OEs. O principal efeito é o transporte meridional de vorticidade e seu efeito dominante para o estado básico com OEs muito longas, evidenciando a interação entre as diversas ondas.

Mecanismos de feedbacks entre ondas estacionárias, baroclinicidade em superfície, storm track e aquecimento diabático proveniente de condensação são propostos por [Inatsu et al. \(2003\)](#), que propuseram um mecanismo de feedback positivo, da seguinte forma: primeiro o saldo de energia dos eddies transientes aumenta a atividade das tempestades através da conversão de energia baroclínica, em seguida os fluxos de calor e de vorticidade indicam um aumento no aquecimento devido a condensação, causado por aumento da evaporação sobre anomalias positivas de TSM e fluxo de umidade do eddy transiente, que foi considerado por esses autores o agente mais importante para forçar eddies estacionários na alta e baixa troposfera. Os eddies estacionários em baixos níveis então, tornam a reforçar o cisalhamento vertical dos ventos de oeste próximo à superfície, dando origem a variações zonais na baroclinicidade e na atividade das tempestades. [Inatsu e Hoskins \(2004\)](#) estudaram assimetrias

zonais nos storm tracks no inverno do HS e concluíram que esse tipo de assimetria é estabelecido por ondas estacionárias na alta troposfera associada às assimetrias zonais na TSM, que por sua vez são modificadas por ciclogêneses associadas com a topografia da AS e da África.

Burkhardt e Lupo (2005) destacam que eventos de bloqueio ocorrem como resultado da interação entre ondas de escala sinótica amplificadas e OEs de escala planetária e que as OEs de escala planetária dão suporte ao desenvolvimento dos bloqueios. Rao et al. (2002a) afirmaram que na AS as OEs influenciam na precipitação pela geração de episódios de bloqueio no sudeste do oceano Pacífico próximo à costa Oeste da AS. Em situações de bloqueio, as ondas 1 e 3 aparecem amplificadas (MO, 1986; MARQUES; RAO, 1999). No caso estudado por Marques e Rao (1999), anomalias negativas de precipitação ocorreram na região de atuação do bloqueio, enquanto que ao norte do bloqueio foi observado um aumento na precipitação. Mo (1986) destaca a ocorrência de estados quase-estacionários no HS relacionados com as ondas 1, 3, e 4.

O ciclo sazonal das OEs climatológicas foi estudado por Wang e Ting (1999), os quais afirmaram que o aquecimento diabático é o mecanismo forçante dominante para mudanças nas ondas estacionárias climatológicas ao longo do seu ciclo sazonal, ressaltando a importância de anomalias na precipitação de grande escala para provocar anomalias nas OEs.

Anomalias no clima podem ser associados com OEs anômalas, que são desvios das OEs climatológicas (LIU et al., 1998). Pan et al. (2000) analisaram as influências de anomalias nas OEs, que segundo eles contribuíram com a metade da precipitação na enchente de 1993 nos Estados Unidos. Seus resultados ainda sugerem que melhores informações sobre anomalias de grande escala podem melhorar a previsão, mesmo em situações onde a precipitação é principalmente de mesoescala. Pan et al. (1999), analisando esse mesmo caso de enchente nos Estados Unidos, verificaram que as OEs estabeleceram uma circulação ciclônica de grande escala, que forneceram condições para que se desenvolvessem sistemas de tempo de mesoescala.

Ting e Hoerling (1993) através de um estudo de modelagem, analisaram as anomalias nas OEs para o El Niño de 1986-1987. Segundo esses autores, circulações anômalas nas OEs causadas por aquecimento diabático provocam trens de onda do tipo Pacífico-América do Norte (PNA), provocando uma reorganização das storm tracks sobre a AN. No HS, Fernandez (2004) notou que durante anos de El Niño as anomalias nas OEs favorecem eventos de bloqueio no oceano Pacífico, tendo um

forte impacto no regime de precipitação da AS.

Experimentos com modelos numéricos foram realizados por James (1988) que destacou a presença de onda 1 associada à orografia Antártica. Em outro estudo de modelagem com a orografia da Antártica foi obtido um padrão de onda 3 (CAVALCANTI, 2000), relacionado a eventos de bloqueio. As influências da OE 3 também foram associadas à variabilidade do gelo marinho na Antártica por Raphael (2007).

Anomalias nas OEs estão ligadas a sistemas persistentes de tempo, dentre eles, a Zona de Convergência do Atlântico do Sul (ZCAS) (ROBERTSON; MECHOSO, 2000), bloqueios (MARQUES; RAO, 1999) e o sistema alta da Bolívia-Cavado no Nordeste do Brasil (CHEN et al., 1999; FIGUEROA, 1997). Estes sistemas tem grande impacto no clima da AS, provocando muitas vezes anomalias climáticas catastróficas, com imensos prejuízos para as populações atingidas. Portanto o estudo dessas inter-relações é importante para que se possa melhorar os métodos de interpretação e modelos de previsão.

Os trabalhos encontrados na literatura, para o HS, deram mais ênfase ao comportamento do ciclo anual das OEs ( Quintanar e Mechoso (1995a), Fernandez (2004) entre outros). No entanto poucos estudos investigam a variação dessas ondas associadas a anomalias climáticas. Na bibliografia consultada foram encontradas análises para anos em que atuaram os fenômenos El Niño e La Niña (FERNANDEZ, 2004).

Ainda há uma divergência entre os autores, sobre as forçantes das OEs, como, a importância da orografia por exemplo, Hoskins e Ambrizzi (1993), Ambrizzi e Hoskins (1996), James (1988), Cavalcanti (2000), outros destacam como principal forçante, o aquecimento diabático (por exemplo Smagorinsky (1953), Wang e Ting (1999)), e há ainda os que destacam a convecção tropical e El Niño (KALNAY et al., 1986), além da forçante por distúrbios transientes e efeitos não lineares.

Em uma análise da atividade de onda quase-estacionária no HS, Karoly et al. (1989) encontraram máximos na região de storm tracks, indicando que processos de latitudes médias, como instabilidade nas correntes de jato e interação com distúrbios transientes eram os maiores mecanismos para forçar anomalias nas OEs. As OEs tem impacto na precipitação sobre a AS, principalmente associadas a bloqueios no Pacífico Sudeste (RAO et al., 2002b; FERNANDEZ, 2004). Em geral os artigos consultados indicam que há uma interação entre os sistemas persistentes de tempo e as OEs.

Os sistemas meteorológicos têm relação com as OEs também indiretamente através de teleconexões associadas a trens de onda que influenciam o clima em regiões remotas. Conforme já citado, tem relação com ENOS, por exemplo em Kalnay et al. (1986), Quintanar e Mechoso (1995a), Fernandez (2004), Rao et al. (2004). Os Modos do Pacífico-América do Sul (PAS) no inverno foram estudados por Mo e Higgins (1998), onde foram identificadas anomalias nas ondas 1 e 3 em latitudes médias, associadas à convecção tropical. Cazes-Boezio et al. (2003) também identificaram padrões de teleconexão associados a modos quase-estacionários associados ao ENOS.

Os diversos estudos apresentam resultados que relacionam mudanças nas OEs com mudanças de padrões de circulação de grande escala, como por exemplo o ENOS, que por sua vez, contribuem para a presença ou intensificação/desintensificação de sistemas de tempo local, como por exemplo, os Bloqueios, sistemas frontais e a ZCAS. Portanto, os estudos sobre as OEs são importantes para tentar esclarecer a forma de interação entre as ondas e esses sistemas. Um maior conhecimento das OEs pode melhorar os métodos de previsão climática, principalmente intrasazonal e interanual.

### 2.3 Sumário

Foram apresentadas as principais características climáticas das OEs no HS em van Loon e Jenne (1972), Hartmann (1977), Trenberth (1980), Karoly (1985), Quintanar e Mechoso (1995a), Fernandez (2004), entre outros. Grande parte dos estudos foca nas ondas 1, 2 e 3, que são as que tem maior representatividade no HS. A OE 1 geralmente tem a crista sobre o Pacífico em altas latitudes com a fase invertendo sobre o Pacífico subtropical e tropical. A OE 2 tem grande componente sobre a Antártica. A OE 3 é bem definida entre 25°S e 60°S, com cristas próximo à AS, África e Oceania. As OEs tem relação com anomalias de TSM (HOBBS; RAPHAEL, 2007), orografia (BAINES; FRAEDRICH, 1989), eddies transientes (QUINTANAR; MECHOSO, 1995a), aquecimento tropical (KASAHARA; DIAS, 1986) e convecção tropical (KALNAY et al., 1986). No HS os principais sistemas meteorológicos que tem relação com anomalias nas OEs são os sistemas ligados às ZCST (KODAMA, 1993; CHEN et al., 1999) e bloqueios (MO, 1986; MARQUES; RAO, 1999). As OE também tem relação com oscilações de grande escala sobretudo ENOS, por exemplo em Rao et al. (2004) e com variações do gelo da Antártica (RAPHAEL, 2007).

### 3 DADOS E METODOLOGIA

Este capítulo aborda os dados e métodos de cálculo e de processamento utilizados para analisar as OES e seus efeitos sobre a América do Sul.

#### 3.1 Dados

Para o estudo das anomalias de precipitação foram utilizados dados mensais provenientes do GPCP (Global Precipitation Climatology Project), que são dados globais da precipitação na superfície com uma resolução de  $2,5^\circ$  latitude x  $2,5^\circ$  longitude para o período de 1979-2006. Esses dados incorporam estimativas de precipitação com dados de satélite de microondas de órbita baixa, dados de satélite geoestacionário do espectro infravermelho e observações de precipitação na superfície (ADLER *et al.*, 2003). Esses dados foram escolhidos por terem uma grande concordância com dados observados em estações de superfície da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), segundo Vasques (2007).

Para o estudo das OEs, foram utilizados dados de reanálise 2 do NCEP-DOE (KANAMITSU *et al.*, 2002). Esses dados foram escolhidos por terem diversos erros corrigidos relativo a reanálise 1 NCEP-NCAR. Esse conjunto de dados inclui somente dados pós-satélite, o que deve melhorar a qualidade dos dados sobretudo sobre os oceanos. Foram analisados os dados de 1979 até 2006.

Os dados de reanálise 2 NCEP-DOE tem resolução de  $2.5^\circ$  x  $2.5^\circ$  graus (latitude, longitude). Para esse estudo foram utilizados principalmente a variável geopotencial para os níveis de 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100 hPa. Foram também utilizados dados de temperatura e pressão ao nível do mar (PNM).

Como visto no capítulo 2 as OEs têm relação com algumas características climáticas, como aquecimento diabático, anomalias de TSM, e convecção tropical. Por isso em algumas análises são utilizadas médias mensais de Radiação de Onda Longa interpolada da NOAA (LIEBMANN; SMITH, 1996) e temperatura da superfície do mar (TSM) reconstruída da NOAA (SMITH *et al.*, 2008). Os dados de diversas fontes foram utilizados, pois algumas variáveis não estavam disponíveis na reanálise 2. Apesar das diversas fontes de dados, todas foram analisadas no período de 1979 a 2006.

## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Ondas Quase-Estacionárias

As OEs foram analisadas de acordo com a metodologia de van Loon e Jenne (1972), Quintanar e Mechoso (1995a), Fernandez (2004), onde considera-se um campo atmosférico  $\phi(\lambda, \varphi, p)$  como sendo qualquer campo quase-estacionário (média mensal) onde,  $\lambda$  é a longitude,  $\varphi$  é a latitude e  $p$  é a pressão. A componente zonalmente assimétrica é definida como:

$$\phi^* = \phi - [\phi] \quad (3.1)$$

Onde a  $[\ ]$  define a média zonal. Pela teoria das séries de Fourier, cada onda zonal pode ser representada por uma componente da série de Fourier de  $\phi$  na forma:

$$\phi_k = A_k(\varphi, p)\cos[k\lambda + \alpha(\varphi, p)] \quad (3.2)$$

Onde  $A_k$  e  $\alpha_k$  são respectivamente a amplitude e a fase da componente. A decomposição em séries de Fourier, permitiu a análise das estruturas verticais e horizontais além do comportamento mensal das OEs 1 a 4.

### 3.2.2 Série de Fourier

A série de Fourier, pode representar qualquer função por mais complexa que seja, por uma série composta de senos e cossenos. Baseado nessa teoria, foi desenvolvido um algoritmo relativamente simples em linguagem de script do software GRADS (<http://www.iges.org/grads/>, 2012). Maiores detalhes do método de cálculo da série de Fourier, podem ser encontrados em Marques (1996). Esse procedimento gerou arquivos com dados das amplitudes, harmônicos (ondas) e fases das OEs para o HS, para a climatologia e para os dados mensais de reanálise do NCEP-DOE.

### 3.2.3 Análise climatológica das Ondas Quase-Estacionárias

As amplitudes médias para cada mês do ano foram analisadas para as ondas de 1 a 4, que são ondas longas planetárias. As amplitudes e percentagem da variância foram analisadas para as latitudes de 30°, 45° e 60° S, assim como a distribuição latitudinal das amplitudes em cada mês, para cada onda. A estrutura vertical das amplitudes do campo total e de cada onda e também o campo espacial do campo total e de cada onda foram analisados para cada mês. Para a caracterização das máximas amplitudes e posições durante o ano, foram analisadas as variações mensais de cada onda, nas latitudes e longitudes. Com o fim de discutir as características das ondas na região

da América do Sul, foram feitas análises específicas para esse setor.

### **3.2.4 Análise da Variabilidade das Ondas Quase-Estacionárias**

As análises da variabilidade da amplitude e da fase, foram feitas pela confecção de gráficos, que permitiram analisar a variabilidade mensal, interanual e intrasazonal das OEs no HS. Foram também investigados os padrões de variabilidade das ondas de 1 a 4 que foram obtidos através de análise de Funções Ortogonais Empíricas para cada mês, no período de estudo. Esse método fornece os modos principais de variabilidade, que são obtidos em função das maiores variâncias explicadas. Uma descrição detalhada desse método é encontrada em [Hannachi et al. \(2007\)](#). Nesse estudo foi apresentado apenas o primeiro modo, para identificar as principais regiões de variabilidade das ondas de 1 a 4 em cada mês. O primeiro modo representa a maior parte da variabilidade.

### **3.2.5 Análises Atmosféricas Associadas às Ondas Quase-Estacionárias com Grande Amplitude**

Para estudar as características atmosféricas associadas às OEs, foram feitas análises de compostos de casos. Para facilitar as análises das diversas situações em que as amplitudes estiveram muito acima da média, foram selecionados 6 casos para cada mês, para cada uma das 4 principais OE, independentemente da latitude em que ocorreram. Selecionados esses casos, foram avaliadas as fases próximas às latitudes onde os valores da amplitude foram máximos e agrupados em compostos simples, considerando-se a sazonalidade, totalizando 18 casos por estação do ano, os quais foram divididos conforme a fase. Os compostos de geopotencial em 200 hPa foram analisados juntamente com os campos de anomalias médias de precipitação e temperatura em 925hPa, para o mesmo período de cada um dos compostos. Com essa metodologia foi possível inferir possíveis interações entre as anomalias climáticas e as OE.

Foram também realizados alguns estudos de casos de amplitudes extremas, que mostraram as influências das OEs na precipitação da AS.



## 4 CLIMATOLOGIA

O conhecimento das características climatológicas das OEs no HS, em uma escala mensal, é importante para identificar quais são as ondas dominantes em várias latitudes durante o ano e para entender de que forma as OEs são associadas a características atmosféricas no hemisfério e principalmente sobre a AS. Alguns estudos analisaram essas ondas no HS, por exemplo [van Loon e Jenne \(1972\)](#), [Quintanar e Mechoso \(1995a\)](#), [Fernandez \(2004\)](#) porém esses estudos não mencionam a variabilidade mensal e alguns aspectos importantes das OEs sobre a AS. Assim, nesse capítulo são apresentadas e discutidas características gerais e complementares das OEs climatológicas no HS, com ênfase nas características próximas à AS.

### 4.1 Análise das amplitudes

As amplitudes climatológicas das OEs no nível de 200hPa nas latitudes de 30°S, 45°S e 60°S são apresentadas na Figura 4.1, que contém escalas diferentes devido à amplitude da OE 1 ser muito mais intensa em 60°S que nas outras latitudes. Em 30°S a amplitude maior é da OE 1, mas no mês de maio (abril) as ondas 1 e 2 são praticamente da mesma amplitude. As maiores amplitudes da onda 1 ocorrem em Agosto, Setembro e Outubro. A OE 2 tem um ciclo anual semelhante ao da onda 1, em 30°S, aumentando a amplitude no fim do outono e inverno e diminuindo na primavera e verão, embora com muito menor amplitude. A OE 4, embora não destacada na maioria dos estudos anteriores, apresenta, nesta latitude, amplitudes maiores do que as ondas 2 e 3 nas estações de primavera e verão (Figura 4.1). A configuração da onda 4 no período de verão também foi identificada em casos de intensificação da ZCAS por [Cavalcanti e Cunningham \(2006\)](#).

Em 45°S (Figura 4.1) destaca-se a maior amplitude da OE 1 durante o verão e a maior amplitude da OE 3 nos outros meses, com exceção do mês de agosto. A maior amplitude da OE 3, nessa latitude, indica maior influência da variação na velocidade do vento zonal e da posição da corrente de jato ([KINDSON, 1988](#); [PEZZI et al., 1996](#)), que nessa latitude é mais intensa. Em 60°S a OE 1 é amplamente dominante, indicando maior influência da orografia da Antártica nessa latitude.

A contribuição relativa de cada onda é vista na Figura 4.2 em que é apresentada a percentagem da variância de cada OE. A OE 1 é a que tem a maior representatividade da variância em todos os meses nas latitudes de 30°S e 60°S, e em 45°S na maioria dos meses de outono, inverno e primavera a variância das OEs 3 é maior do que a das outras ondas. Isso novamente indica o efeito da orografia ([PEIXOTO et al.,](#)

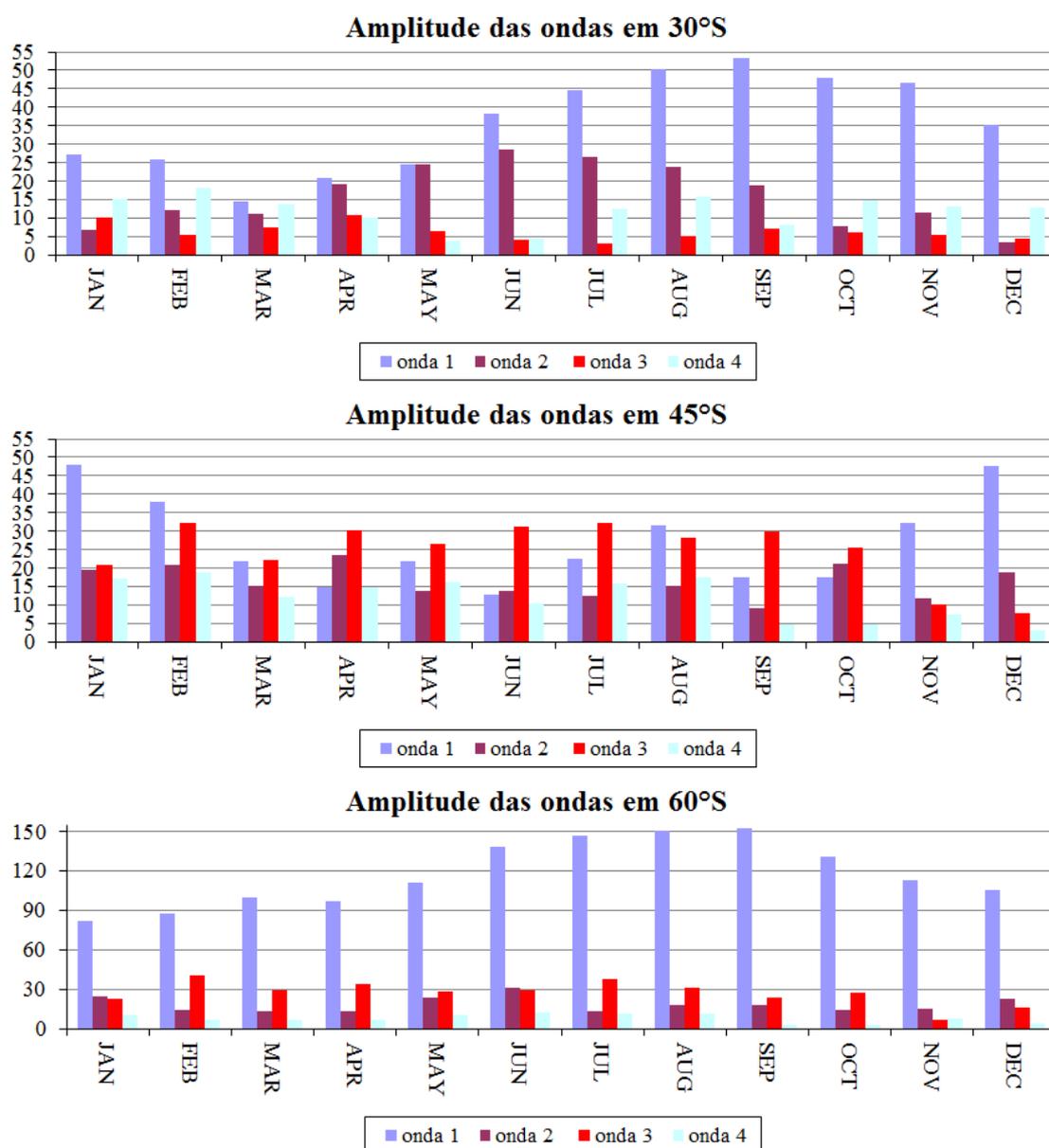


Figura 4.1 - Amplitude das 4 principais OE em 30°S, 45°S e 60°S, em 200 hPa (mgp).

1964) e o efeito da intensidade do vento zonal que nessas latitudes é mais intenso. A OE 2 é mais representativa de maio a julho na latitude de 30°S e nas outras latitudes ela raramente ultrapassa 20% da variância. Em 60°S a OE 1 é a dominante e em todos os meses e representa mais de 80% da variância.

A variabilidade mensal das OEs é importante para se conhecer as épocas em que elas têm mais influência no HS. Considerando-se a soma das 4 principais OEs (Figura 4.3) pode-se notar que há 3 latitudes com máximas amplitudes, um máximo próximo a

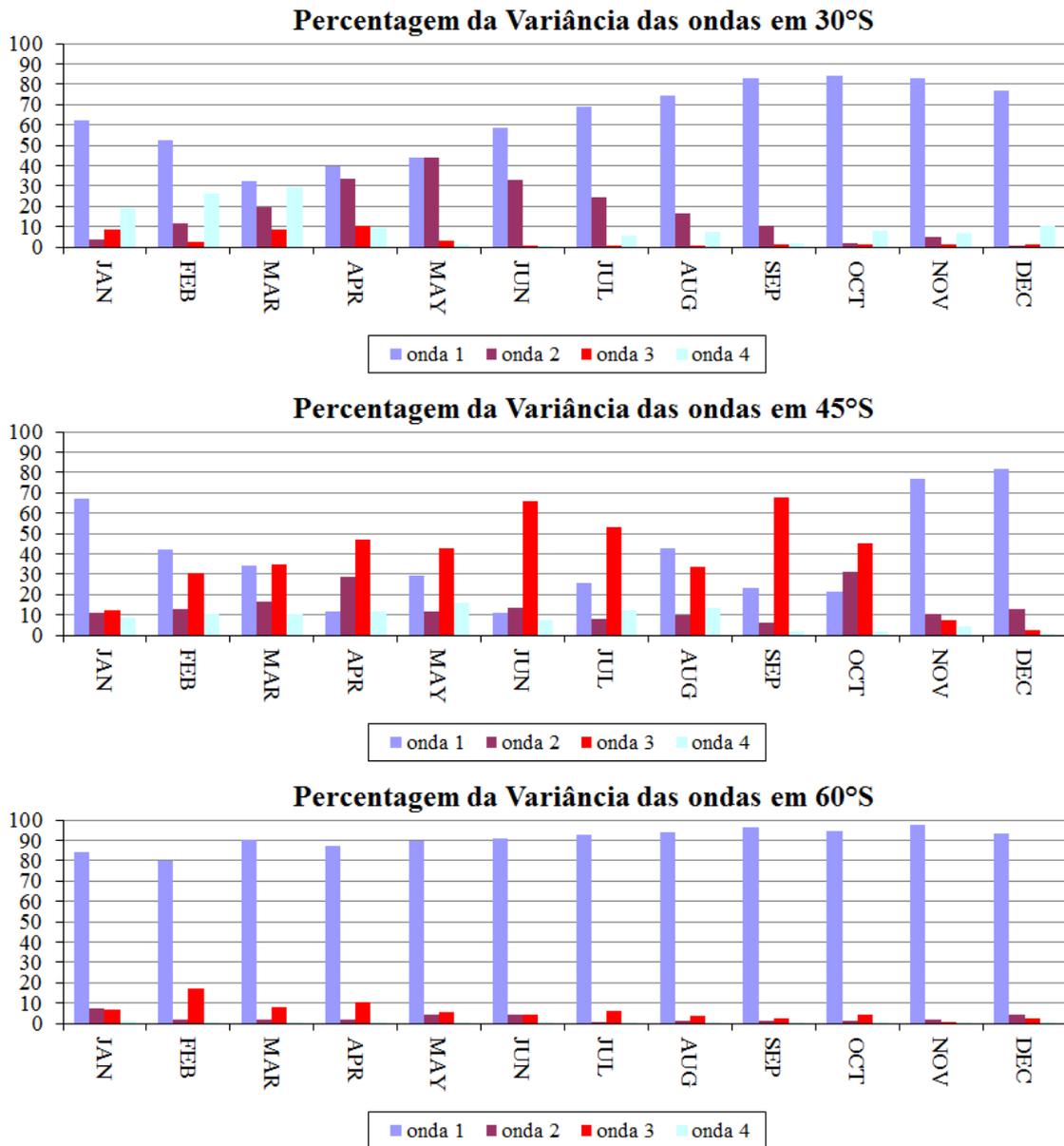


Figura 4.2 - Percentagem da variância das 4 principais OE em 30°S, 45°S e 60°S em 200 hPa.

60°S que permanece maior o ano todo, variando de um mínimo em novembro com 150 mgp e um máximo em agosto em torno de 215 mgp, portanto há uma variabilidade anual de 65 mgp nessa latitude. Um segundo máximo ocorre entre 30°S e 40°S, sobretudo nos meses de julho, agosto e setembro e praticamente desaparece nos meses de verão e outono em dezembro, janeiro, fevereiro e março, sendo a variabilidade entre 40 a 120 mgp. Um terceiro máximo localizado em 20°S, com variabilidade aproximada entre 35mgp e 95mgp, que parece estar mais associado ao aquecimento de verão, com máximos sendo observados em dezembro, janeiro e fevereiro.

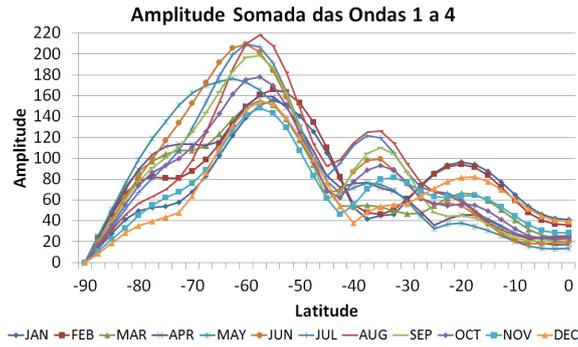


Figura 4.3 - Amplitude somada das ondas 1 a 4 em 200 hPa (mgp).

A variabilidade anual das amplitudes para cada uma das quatro principais OEs pode ser vista na figura 4.4. Como a OE 1 é a dominante no HS, a variabilidade é parecida com a observada para a soma das 4 principais ondas. A OE 2 é a que apresenta maior variabilidade relativamente à posição de máximos, mas atinge maiores amplitudes em maio, junho e julho em aproximadamente 70°S. A onda 3 apresenta também 2 máximos ocorrendo em fevereiro, o maior em torno de 55°S e o segundo em torno de 15°S no mês de fevereiro. A onda 4 em geral tem amplitudes pequenas, porém entre 20°S e 30°S ela atinge máximos, e por ser uma faixa de latitudes em que as outras ondas também tem amplitudes pequenas, ela pode ser muito representativa das circulações de verão no HS.

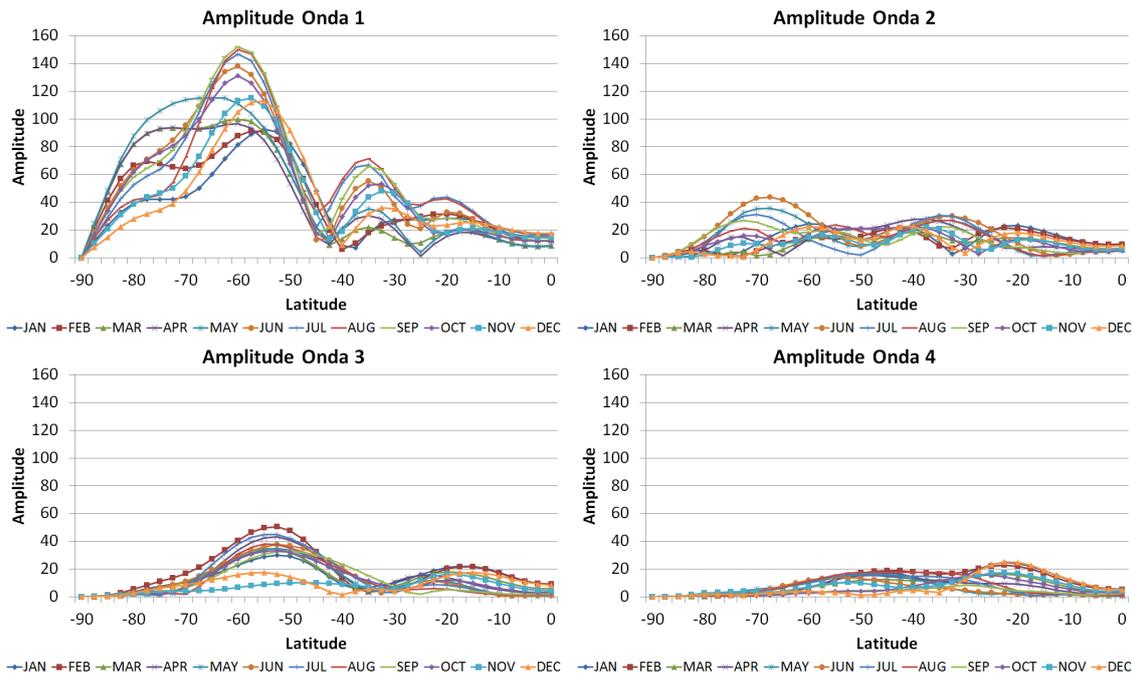


Figura 4.4 - Amplitude das ondas 1, 2, 3 e 4 em 200hPa (mgp).

## 4.2 Estrutura Vertical das OEs 1 a 4

A estrutura vertical da amplitude total das OEs em todos os meses do ano pode ser vista na Figura 4.5, onde pode-se notar que normalmente, existem dois núcleos com amplitudes maiores, um entre as latitudes de 45°S e 60°S, que fica confinado na troposfera de dezembro a abril, propagando-se para a estratosfera nos meses de maio a novembro. O segundo máximo é observado ao norte de 40°S, e fica localizado mais ao norte nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março evidenciando os efeitos de aquecimento.

As estruturas verticais das amplitudes para as ondas 1 a 4 é mostrada nas Figuras 4.6 a 4.9. A amplitude da OE 1 no HS é vista na Figura 4.6. A OE 1 tem 2 núcleos de máxima amplitude predominantes em praticamente todos os meses, um centrado em 50°S - 60°S, com maiores amplitudes e outro subtropical que varia de mais ao norte nos meses de verão e outono, em torno de 15°S a 25°S, para mais ao sul nos meses de inverno e primavera, ficando entre 30°S e 40°S. Os máximos nas altas latitudes ocorrem em 250 hPa de janeiro a março, e no restante do ano, se estendem para a estratosfera. Nas latitudes subtropicais os máximos são observados em níveis mais altos, em torno de 150 hPa, no verão e outono, e em torno de 250 hPa no inverno e primavera.

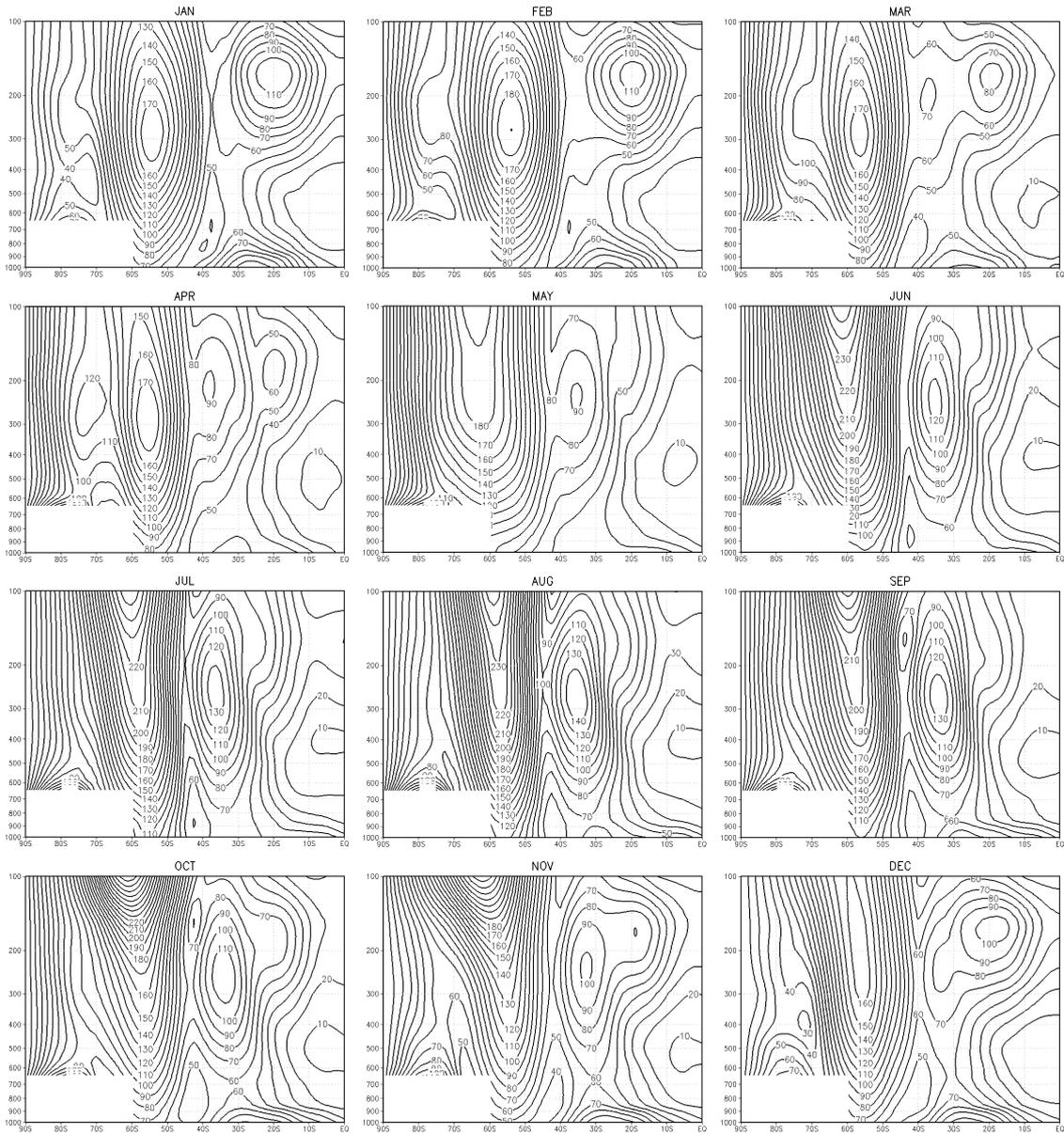


Figura 4.5 - Amplitude climatológica total das OES no HS (mgp).

Nota-se que a OE 1 teve amplitudes semelhantes nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril e em maio nas latitudes altas, começa a se propagar para a estratosfera e se amplificar, atingindo um máximo em outubro com o núcleo de máximo localizado mais ao sul, entre 50°S e 70°S.

A OE 2 não atinge grandes amplitudes, se comparada à OE 1, mas apresenta quase que mesma amplitude em todas as latitudes, com um núcleo mais intenso no sul entre 60 e 80°S com maior intensidade nos meses de inverno (Figura 4.7). Esse comportamento se reflete na média sazonal, que indica amplitudes muito baixas da

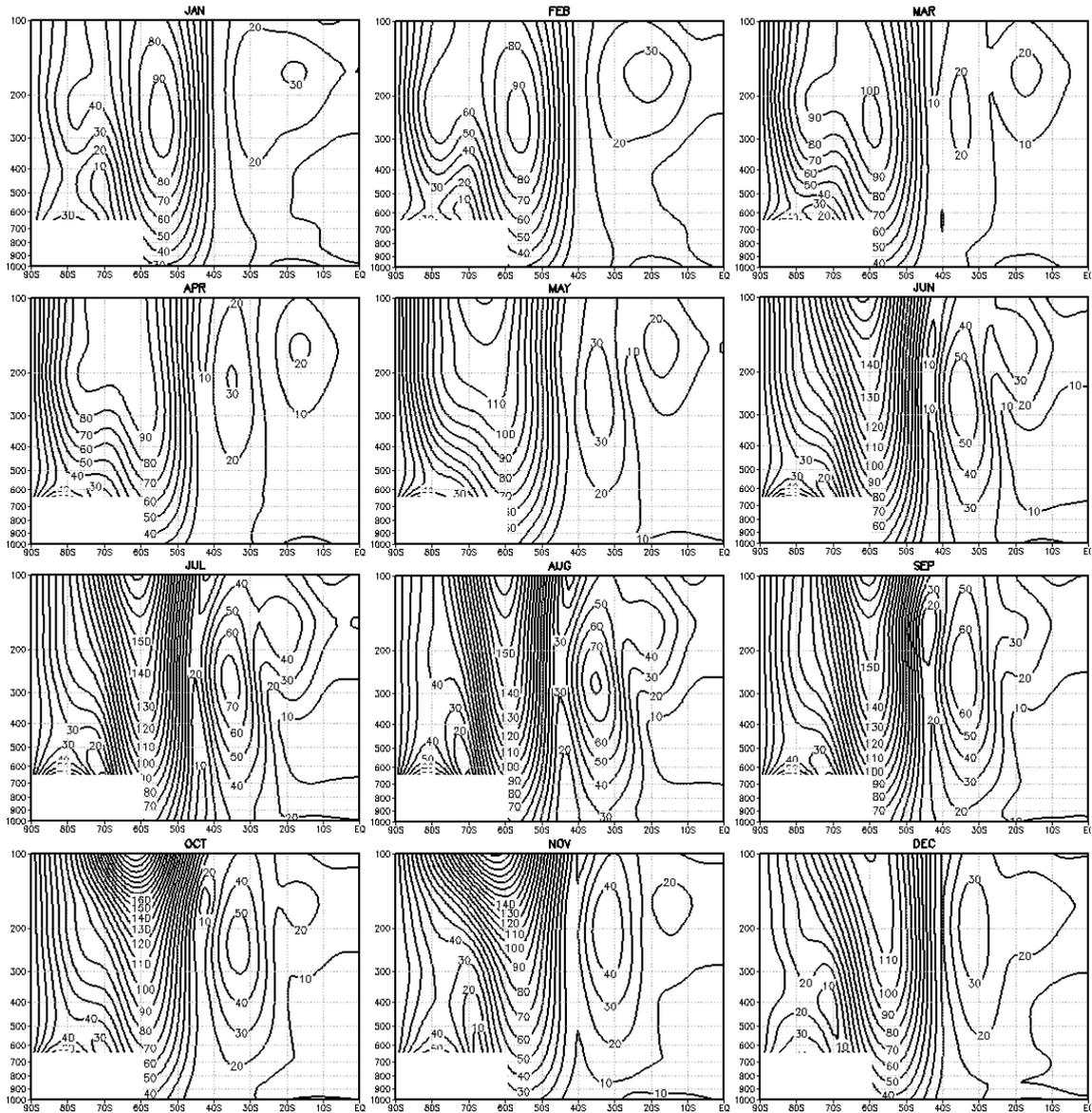


Figura 4.6 - Amplitude climatológica da OE 1 no HS (mgp).

onda 2 (também observado por [Fernandez \(2004\)](#)).

A estrutura vertical da amplitude da OE 3 apresenta 2 núcleos, um ao sul, mais intenso, com o centro sempre em torno de 50°S e máximo em 300 hPa, e outro mais ao norte com centro em torno de 20°S, em níveis mais altos, em torno de 150 hPa, sendo que esse núcleo aparece bem definido de novembro a abril (Figura 4.8). Os máximos em níveis mais altos nas latitudes mais baixas sugere a influência do aquecimento dos 3 continentes nessa época do ano. A influência dos continentes na onda 3 no verão também foi mencionada por [van Loon e Jenne \(1972\)](#), [Mo e White \(1985\)](#). A OE 3 praticamente desaparece no mês de novembro ao sul de 30°S.

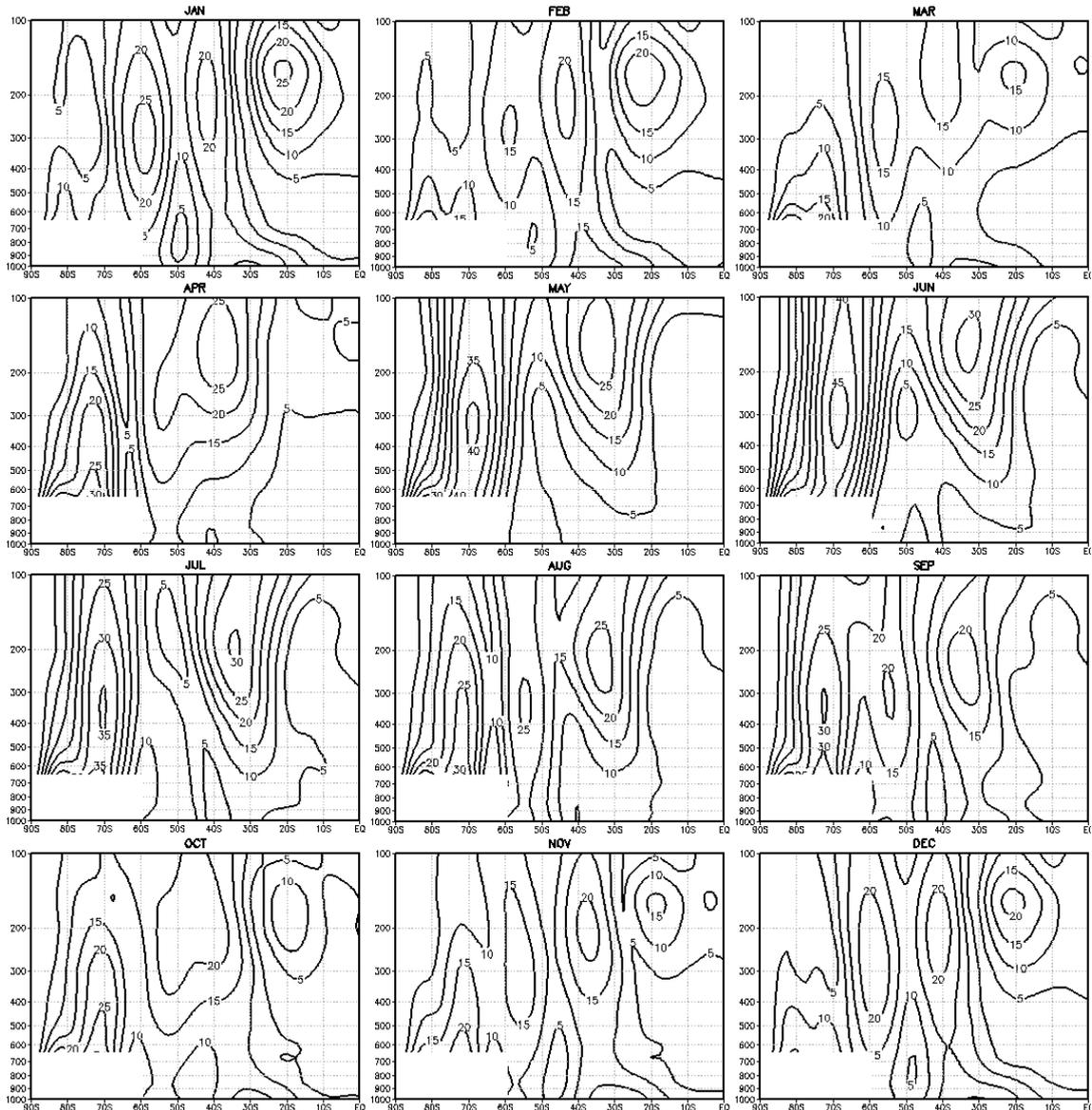


Figura 4.7 - Amplitude climatológica da OE 2 no HS (mgp).

A amplitude da OE 4 é mostrada na Figura 4.9, em que nota-se que a onda 4 é muito fraca quase que o ano inteiro, em relação às outras ondas, com exceção de um núcleo nas latitudes baixas. Esse centro de máximo inicia em outubro, localizado em aproximadamente 25°S e em torno de 250 hPa, e se desloca para níveis mais altos no verão, ficando bem definido até o mês de março. Esse núcleo de onda 4 parece ser importante na caracterização das circulações de verão na AS, como será comentado posteriormente. De abril a julho o máximo da OE 4 se posicionou em 50°S, quando o núcleo tropical se desintensificou.

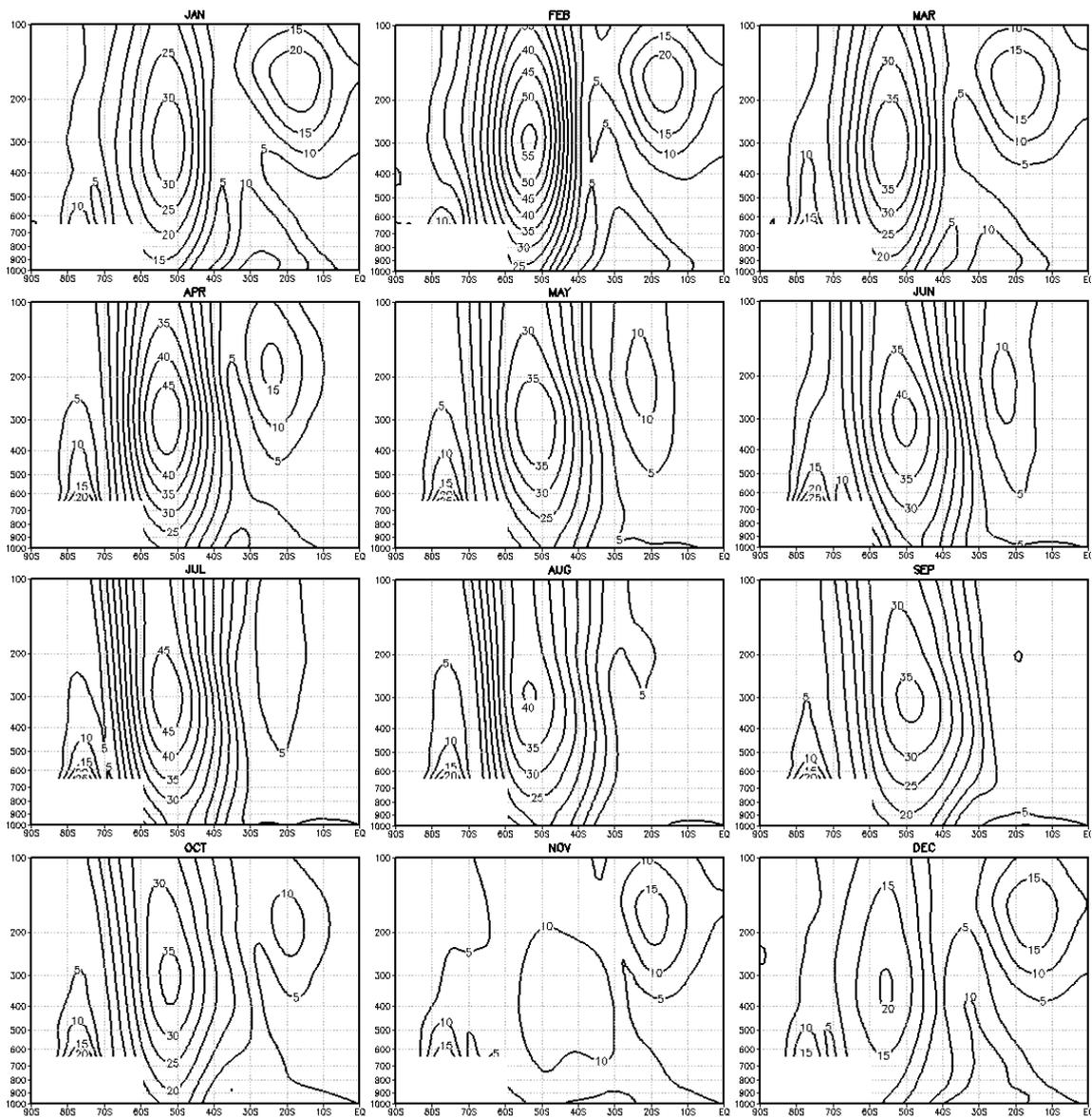


Figura 4.8 - Amplitude climatológica da OE 3 no HS (mgp).

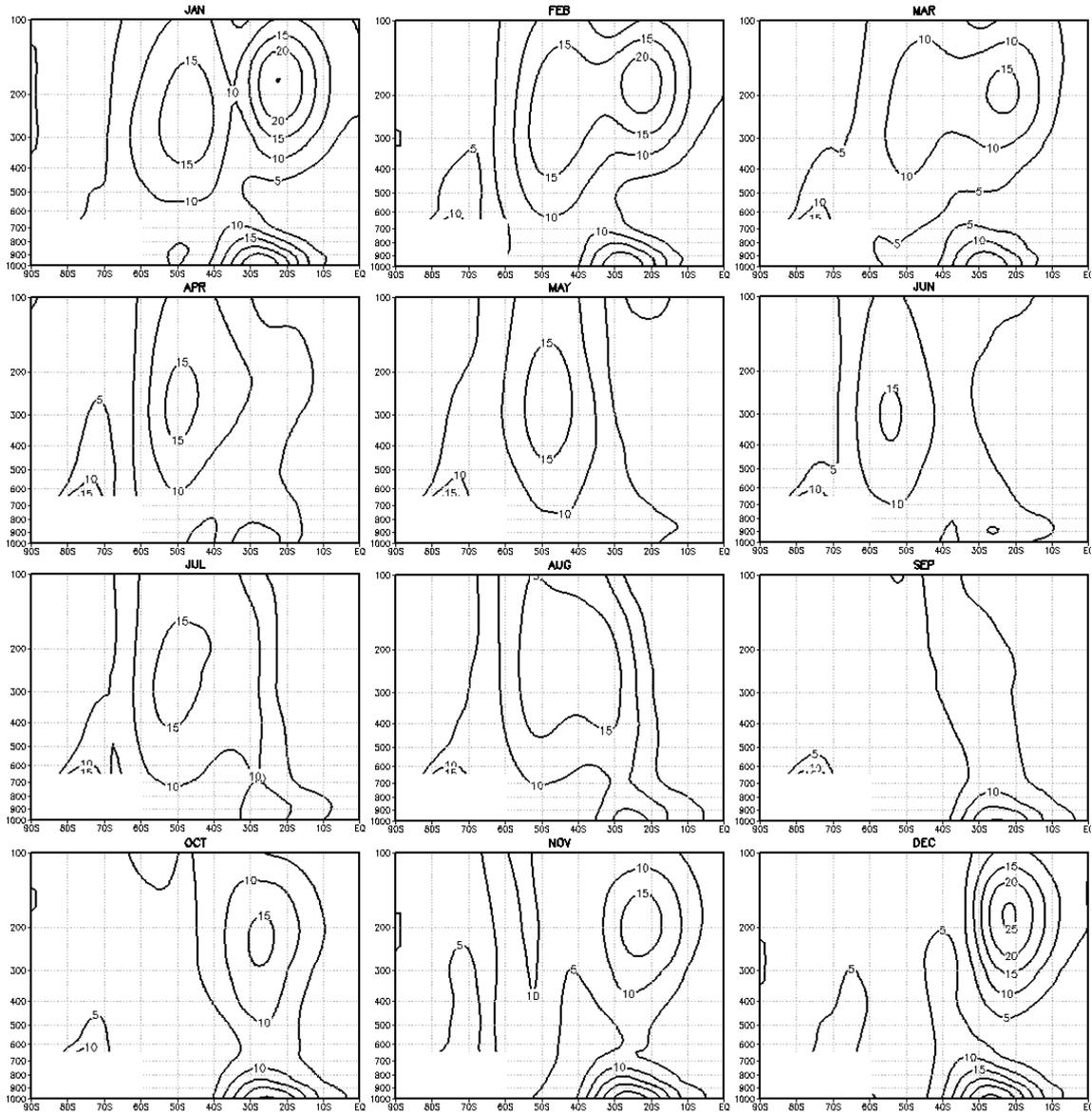


Figura 4.9 - Amplitude climatológica da OE 4 no HS (mgp).

### 4.3 Configuração das OES no HS e na AS

A configuração climatológica de anomalia zonal de geopotencial no HS é mostrada na Figura 4.10, onde se observa que esse campo mostra as principais características de circulação climática no HS. Destaca-se a predominância da OE 1 principalmente sobre a Antártica, e regiões adjacentes durante todo o ano, com uma maior intensidade no inverno. Essa configuração também foi discutida por Hobbs e Raphael (2007), que mostraram que a OE 1 tem uma grande amplitude sobre o Oceano Pacífico, com a crista em latitudes médias e apresentando uma relação com o clima da Antártica. Pode-se observar a formação de altas próximo aos continentes nos meses de verão, sendo evidente a formação da onda 3. Como essa Figura representa todas as ondas somadas, embora algumas OEs tenham mais evidência, como a OE 1 e a OE 3, dependendo da época do ano, as que não aparecem explicitamente nesse campo também atuam intensificando ou desintensificando os centros de atuação (cavados e cristas).

Como já foi visto, a OE 1 é dominante no HS praticamente em todas as latitudes em grande parte do ano. A Figura 4.11 mostra o comportamento mensal da OE 1 no HS, em que observa-se a maior amplitude no entorno do continente Antártico, e um relativo afastamento dessas regiões nos meses de verão, com a alta mais intensa sobre a região do Pacífico Sul e a baixa estendendo-se desde o Atlântico Sul até o Sul do Índico. Em latitudes mais baixas ela não tem amplitude muito alta, mas como já demonstrado anteriormente (Figura 4.4), nessas latitudes as amplitudes são geralmente bem menores que nas latitudes ao sul de 50°S. No verão, os centros nessas latitudes mais baixas são opostos aos das latitudes altas, ficando a crista sobre o Atlântico e Índico e o cavado sobre o Pacífico, se estendendo sobre a AS. No inverno, além da região polar, os centros se concentram nas latitudes subtropicais sobre a AS (cavado) e sobre a Austrália (crista), e nas latitudes médias, na região da Nova Zelândia (cavado) e ao sul da África (crista).

A OE 2 (Figura 4.12) tem amplitude muito pequena relativamente à OE 1 e apresenta as maiores amplitudes próximo às regiões polares, no inverno. Pode-se observar 3 cinturões de atuação dessa OE, um em volta do continente Antártico, outro na latitude aproximada de 25°S, e outro em 45°S. No verão, nas latitudes mais baixas, as cristas se situam a leste da AS e Austrália, e os cavados sobre o Pacífico e Oceano Índico. Nessas latitudes, os centros se invertem no inverno, indicando a influência do contraste de temperatura continente-oceano na ocorrência dessa onda. Nas latitudes mais altas, as cristas se posicionam sobre a Península Antártica e o

lado oposto, seguindo a cadeia de montanhas sobre a Antártica, consistente com as análises de van Loon e Jenne (1972).

A onda 3 apresenta somente 2 cinturões de atuação (Figura 4.13). Um centrado em 50°S, com uma alta sobre o sul da AS, mais intensa em fevereiro, e outro cinturão em latitudes tropicais, com centros próximos a 20°S, que embora fraco, fica mais intenso no verão evidenciando uma interação com as circulações de verão nessas latitudes. Nas altas latitudes a onda 3 foi relacionada à topografia da Antártica em experimentos com um modelo baroclínico em Cavalcanti (2000).

No padrão da onda 4 no HS (Figura 4.14), observa-se que as maiores amplitudes ocorrem no verão em um cinturão com centro em torno de 25°S. O par crista/cavado ocorre sobre a AS/ Atlântico, África do Sul/ Índico, Austrália/Pacífico Sudoeste e centro do Pacífico Sul. Essas são regiões das zonas de convergência do HS: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zona de Convergência do Índico (ZCI), Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), e uma região sobre o leste da Austrália que também apresenta nebulosidade de noroeste para sudeste. Anomalias de precipitação sobre a AS foram associadas à onda 4 por Cavalcanti e Cunningham (2006). Analisando-se as ondas individualmente, parece que a grande parte da configuração de verão do campo quase-estacionário nas latitudes entre 30°S e o Equador, é explicada pelas amplitudes das OE 3 e OE 4.

Como um dos objetivos deste trabalho é conhecer a atuação das OEs sobre a AS, são detalhadas as características das ondas sobre a AS. Os padrões climatológicos de anomalia zonal de geopotencial em 200 hPa, isto é, todas as OE somadas, são apresentados na Figura 4.15, para a região da AS, onde pode-se identificar os sistemas típicos atuantes sobre a AS, sobretudo no verão. Nota-se claramente a predominância do sistema AB e uma baixa no geopotencial sobre o Atlântico, na costa nordeste do Brasil, que representa o cavado climatológico do Atlântico e associado aos vórtices ciclônicos em altos níveis (VCAN), conforme mencionado por Mishra et al. (2001).

O centro de alta sobre a AS (característica da alta da Bolívia), observado no verão, em dezembro, janeiro e fevereiro (Figura 4.15), é semelhante ao apresentado por Chen et al. (1999) para janeiro, que observou que as principais características do sistema AB - Baixa no Nordeste estão associadas às ondas de 1 a 6. Esse centro de alta sobre a AS (alta da Bolívia), observado no verão, tem uma considerável variação latitudinal, com o centro em 25°S de outubro a janeiro e em fevereiro aparecendo mais ao norte, permanecendo ativo ainda nos meses de março e abril e apresentando uma descaracterização total a partir de maio até setembro. Em outubro a

configuração anticiclônica inicia-se novamente, porém em latitudes mais altas que no verão.

Os dois centros ciclônicos (Figura 4.15) sobre o Pacífico e Atlântico que fazem parte do trem de ondas sobre a AS subtropical permanecem durante todo o ano, exceto em Junho e Julho quando apenas o centro sobre o Pacífico permanece. Entretanto a diferença é grande sobre o centro da AS dos meses de verão e começo do outono para o inverno e começo da primavera. Nas regiões extratropicais do domínio a configuração é semelhante durante todo o ano, com uma crista e cavado, intensificados nos meses de inverno.

O comportamento da OE 1 (Figura 4.16) indica o deslocamento de um centro negativo situado sobre o oeste da AS nos meses de verão, para a região central da AS nos meses de outono e inverno, com uma crista sobre a região do Uruguai e centro da Argentina que se intensifica nos meses de inverno. A OE 1 parece ter influência na circulação de inverno, onde representa quase todo o campo quase-estacionário visto na Figura 4.15.

A OE 2, parece não ter grande importância na caracterização do clima na AS, tendo em vista a sua pequena amplitude, como visto anteriormente e geralmente é anulada pelo efeito das outras ondas dominantes. Contudo, tem influência na região sul da AS em alguns meses (Figura 4.17). A amplitude nessa região chega a 20 mgp, semelhante às ondas 3 e 4.

A onda 3 é caracterizada por dois núcleos sobre a AS (Figura 4.18). Uma alta na região norte da AS, que aparece mais intensa, sobretudo nos meses de verão, e diminui, praticamente sumindo nos meses de inverno. Há uma variabilidade na posição do centro da alta que começa a se desenvolver no fim da primavera sobre o centro da AS e se desloca para noroeste posicionando-se sobre a costa oeste da AS. Essa configuração no verão é típica da AB, a qual tem uma contribuição do aquecimento no continente muito semelhante a um padrão mostrado por [Figueroa \(1997\)](#). O núcleo do extremo sul da AS, enfraquece nos meses de novembro e dezembro e se intensifica nos meses de fevereiro a setembro, deslocando-se para oeste durante esse período. Assim, a fase também tem uma mudança significativa, pois no verão o centro da alta encontra-se a leste do extremo sul da AS, passando à oeste no inverno.

A onda 4 se estabelece sobre o centro da AS nos meses de fim de primavera, verão e começo do outono (Figura 4.19), onde nota-se um núcleo de máxima amplitude justamente sobre o centro do continente. A configuração é semelhante à circulação

associada à AB na presença da ZCAS, com uma extensão noroeste-sudeste. De janeiro a agosto também são notados centros nas latitudes extratropicais.

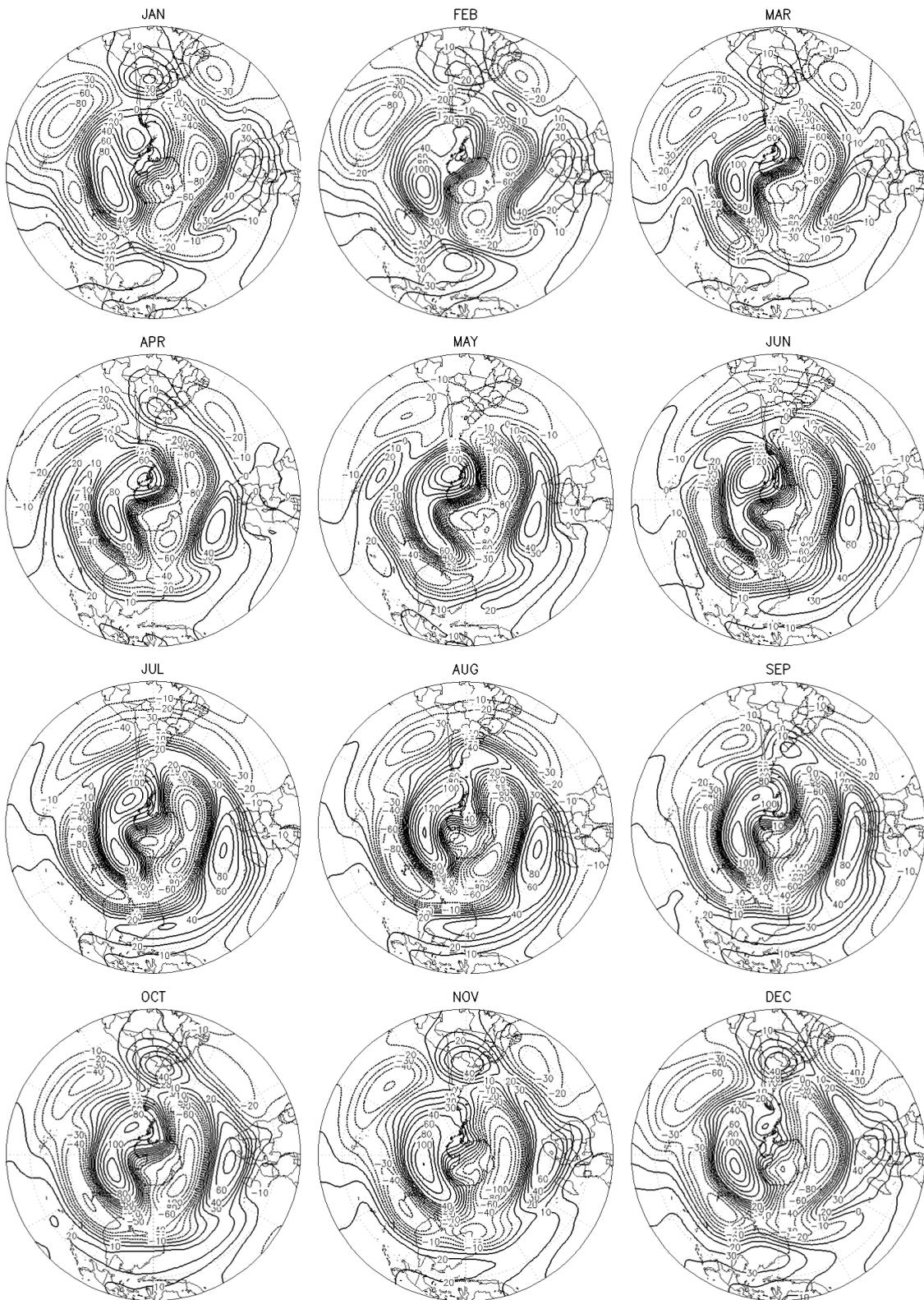


Figura 4.10 - Anomalia zonal do geopotencial em 200 hPa no HS (mgp).

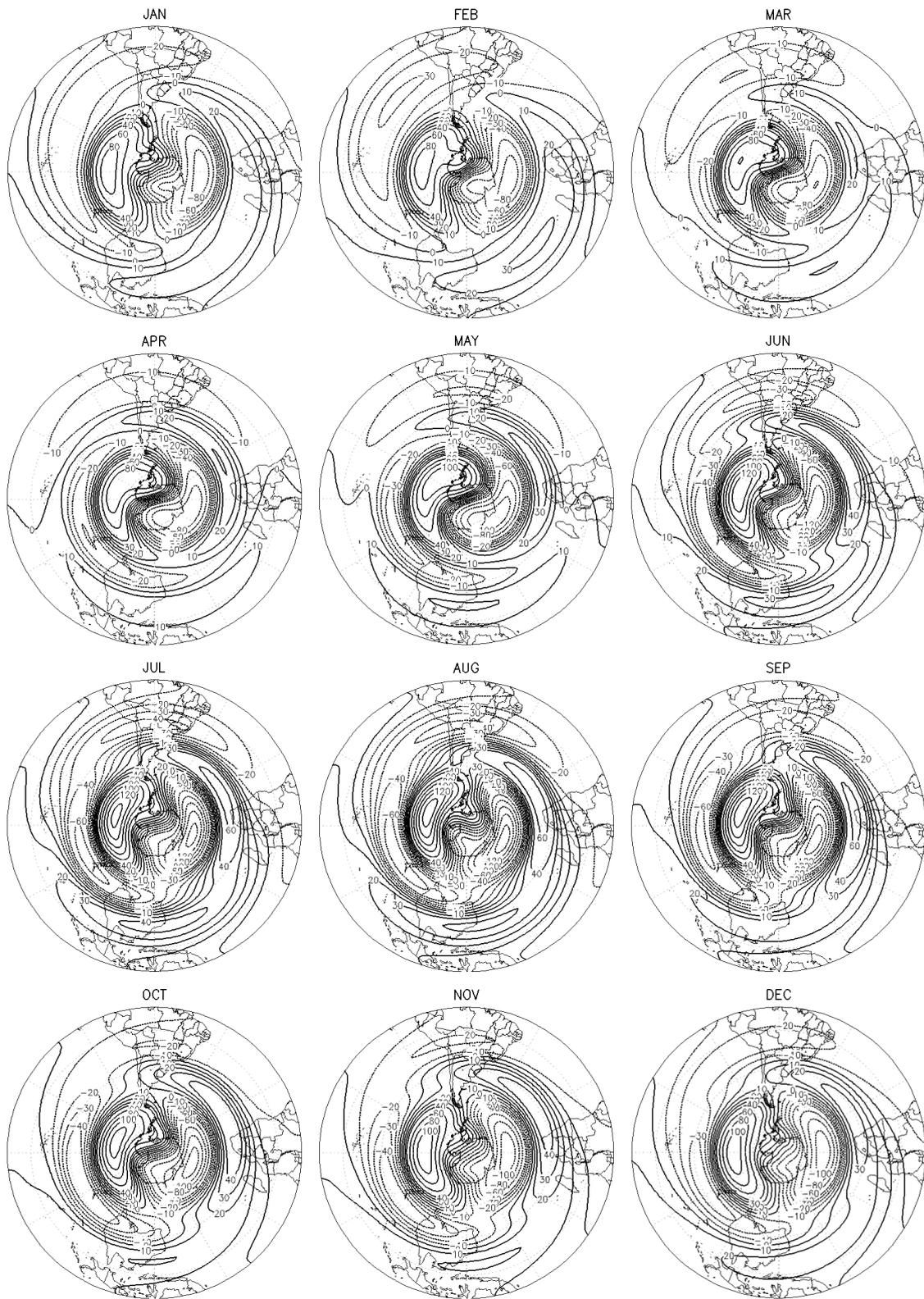


Figura 4.11 - OE 1 no HS em 200hPa (mgp).

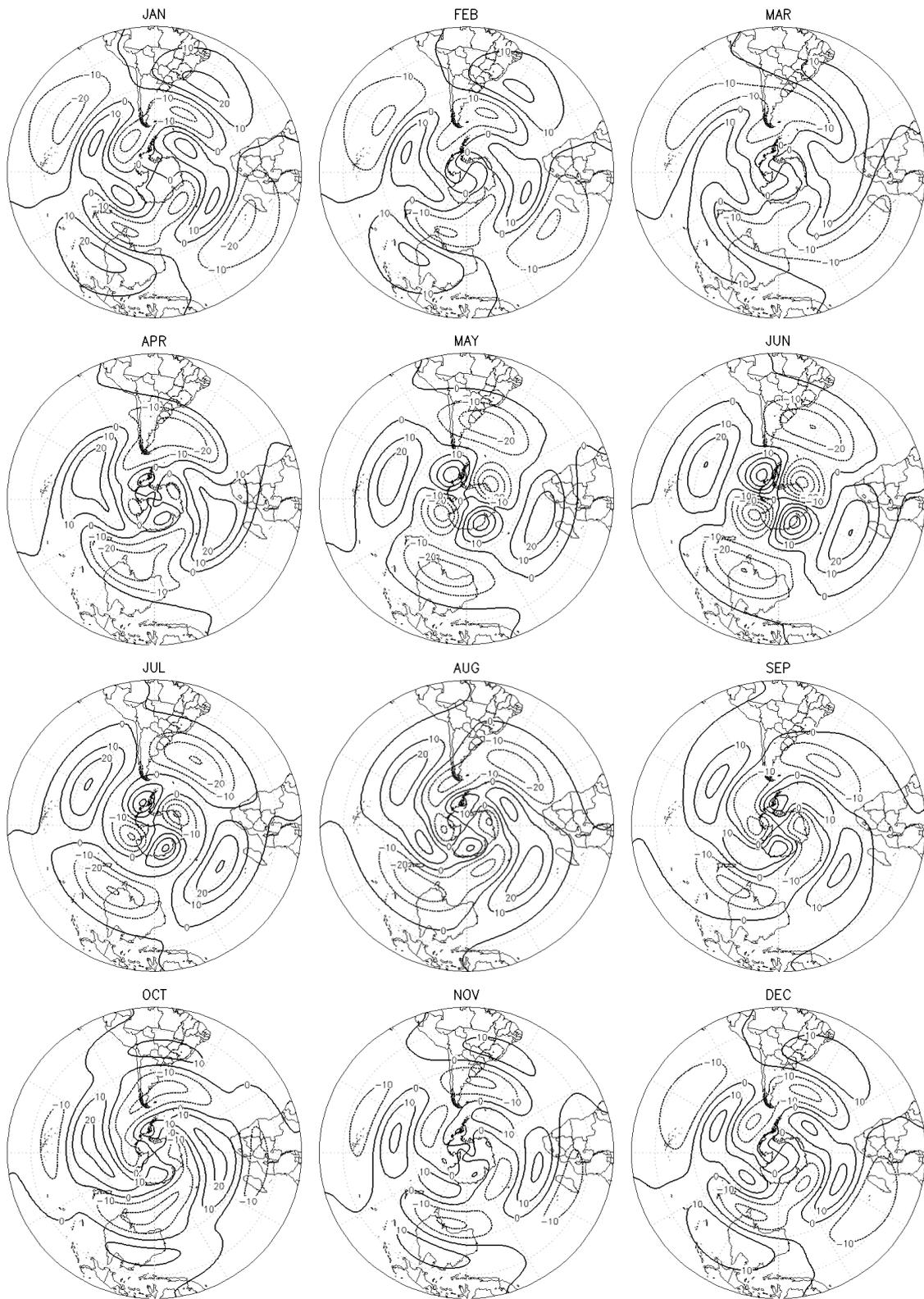


Figura 4.12 - OE 2 no HS em 200hPa (mgp).

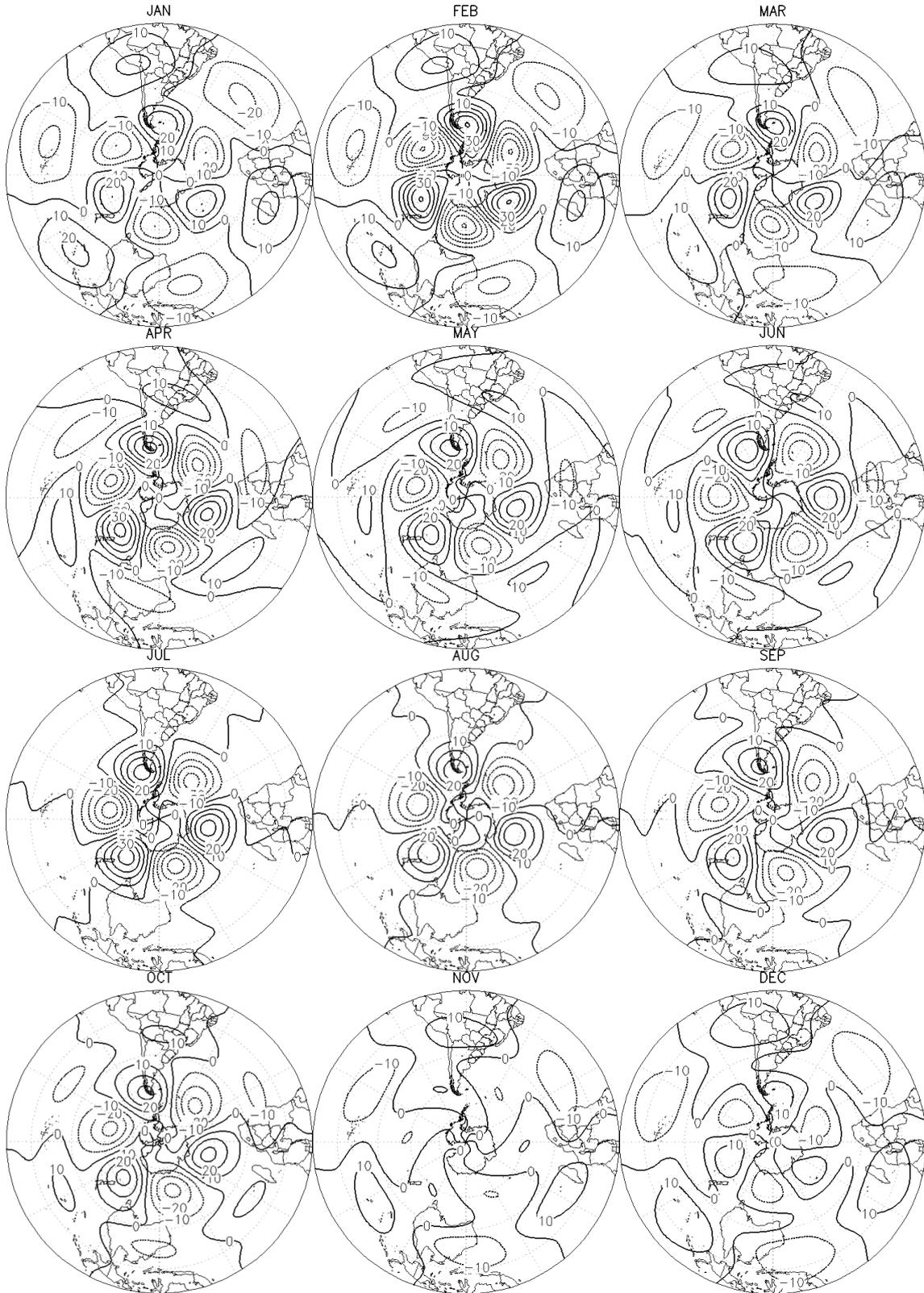


Figura 4.13 - OE 3 no HS em 200hPa (mgp).

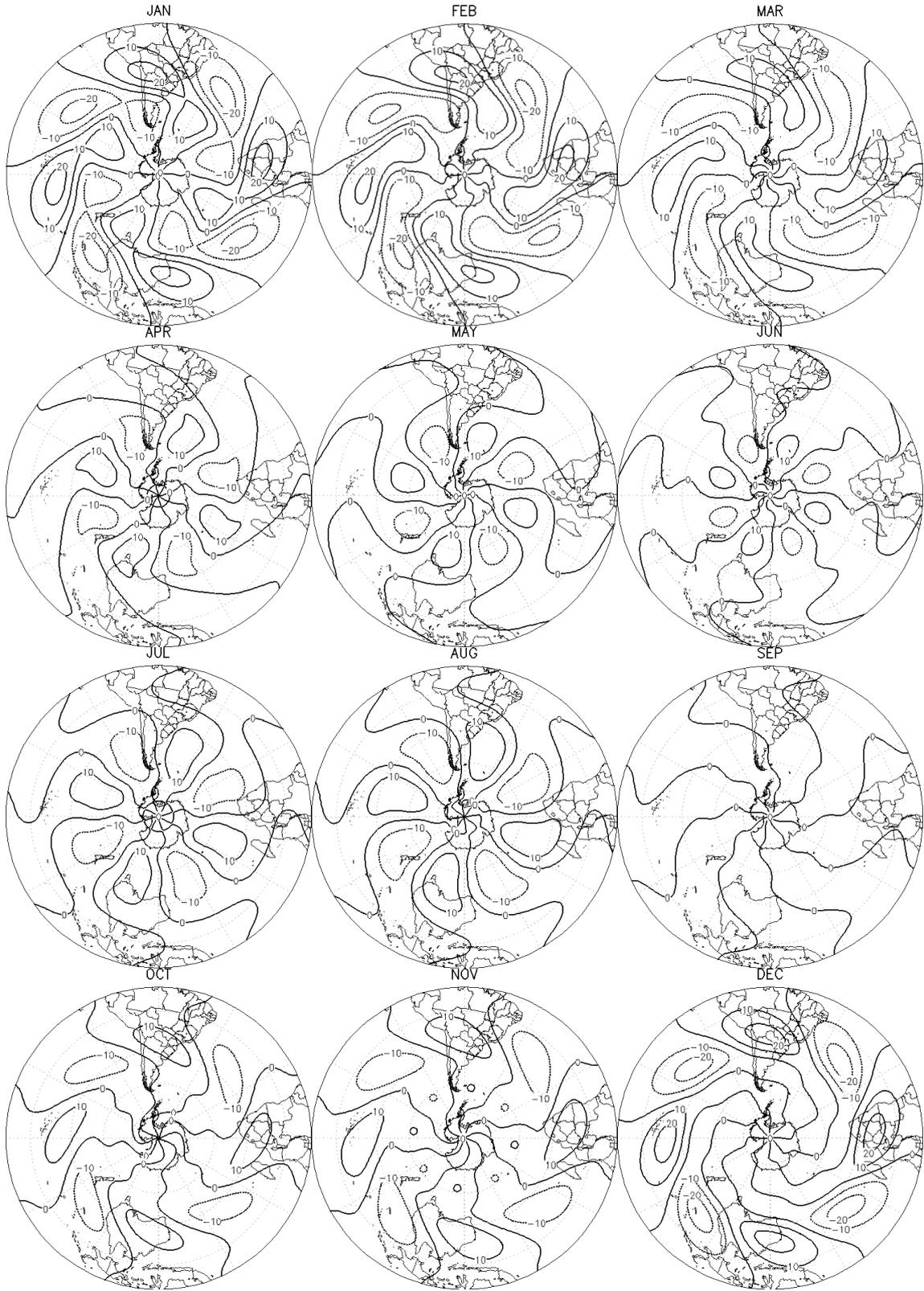


Figura 4.14 - OE 4 no HS em 200hPa (mgp).

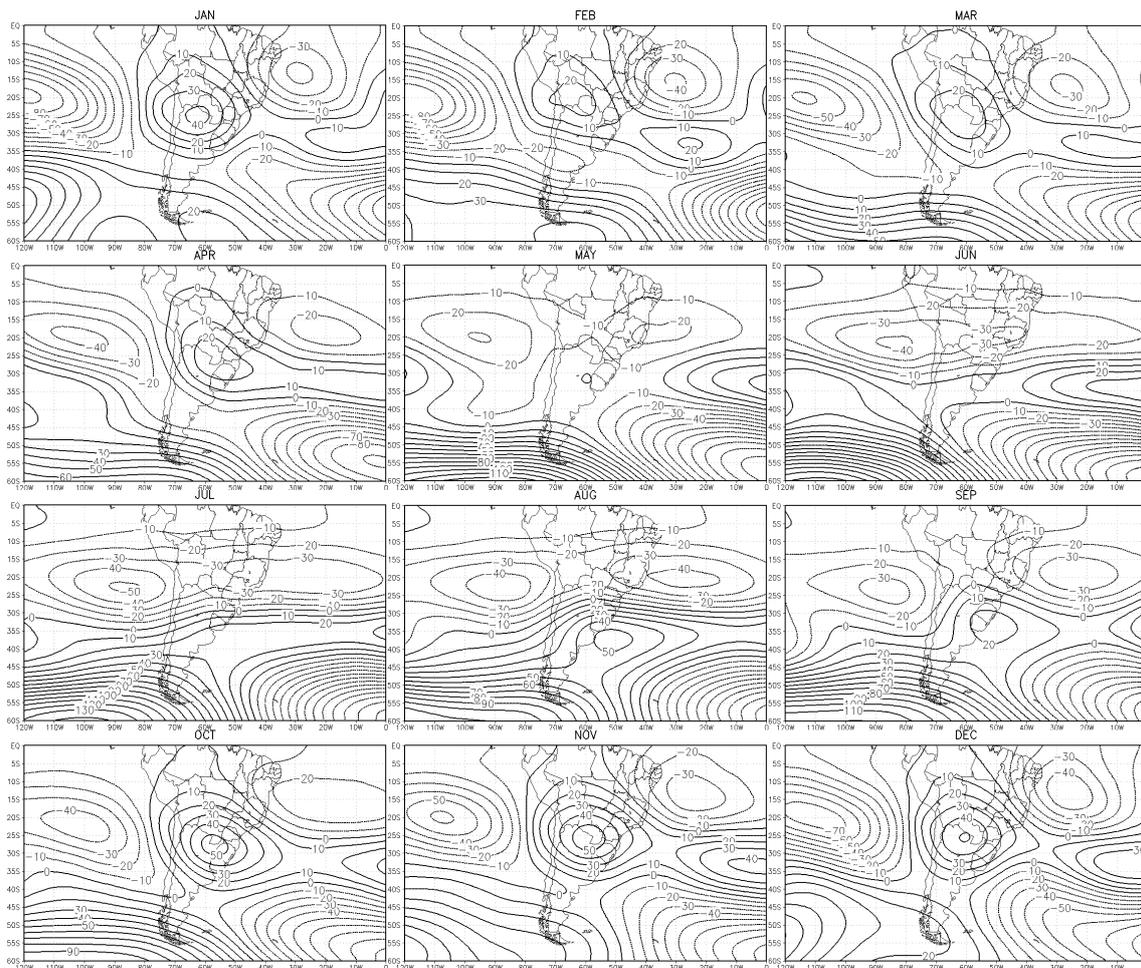


Figura 4.15 - Anomalia zonal do geopotencial em 200 hPa sobre a região da AS (m).

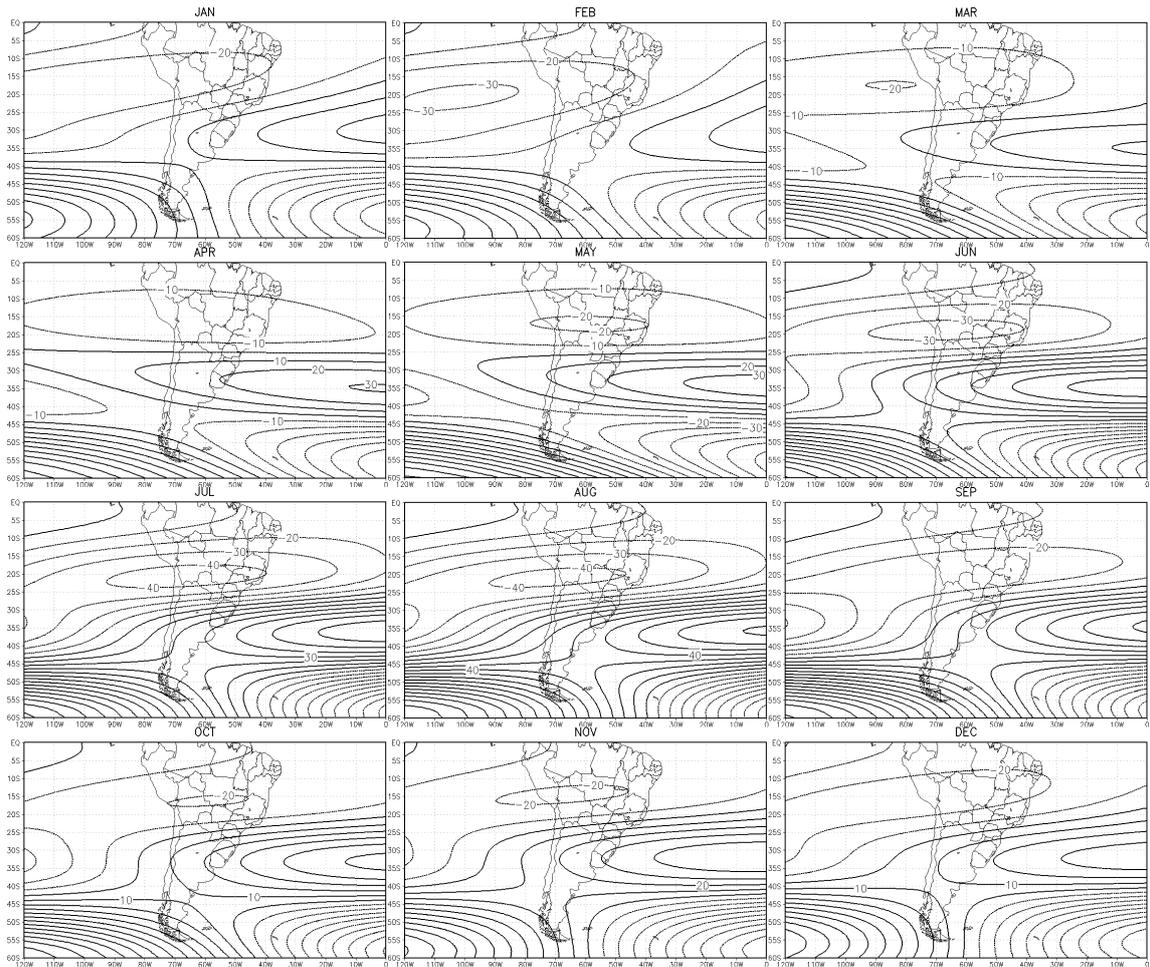


Figura 4.16 - OE 1 na AS em 200hPa (mgp).

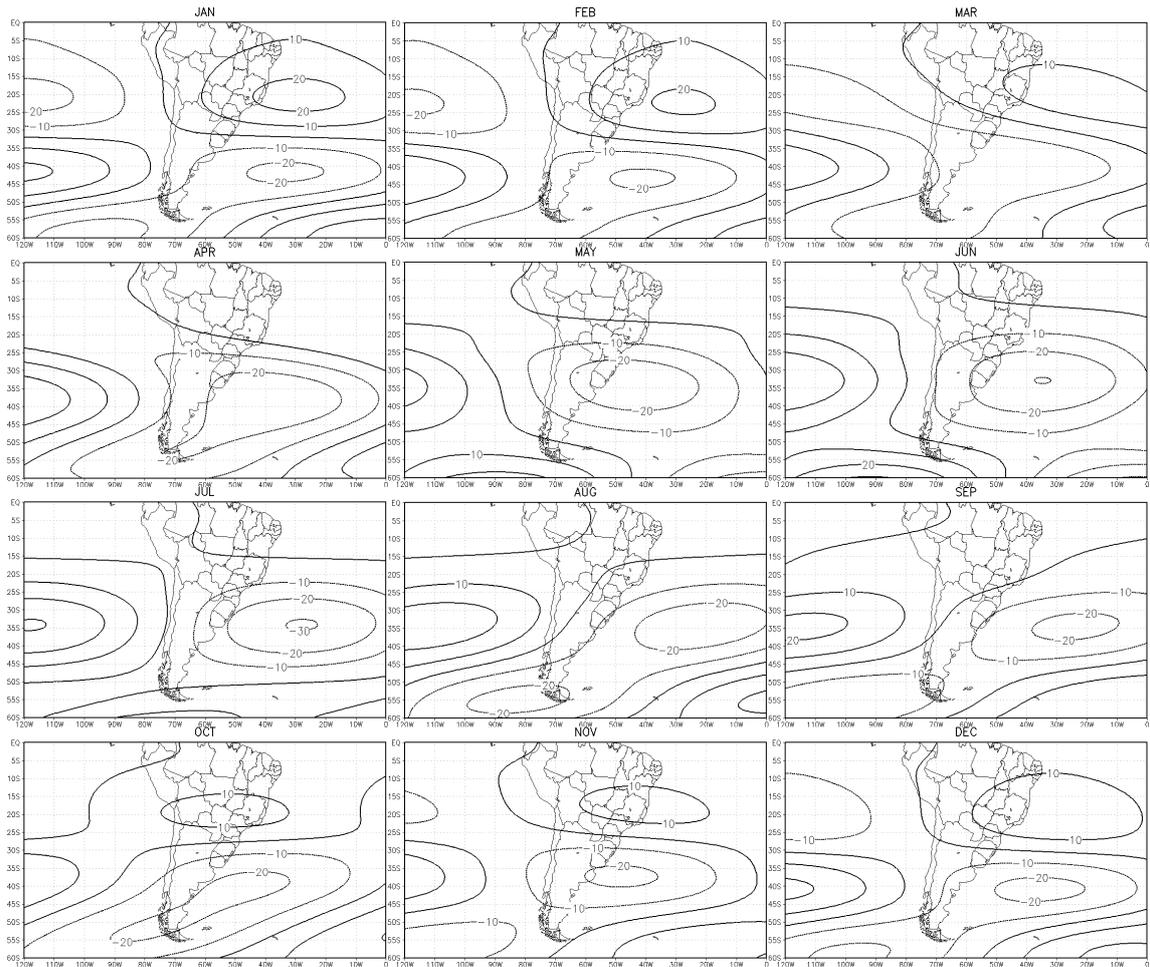


Figura 4.17 - OE 2 na AS em 200hPa (mgp).

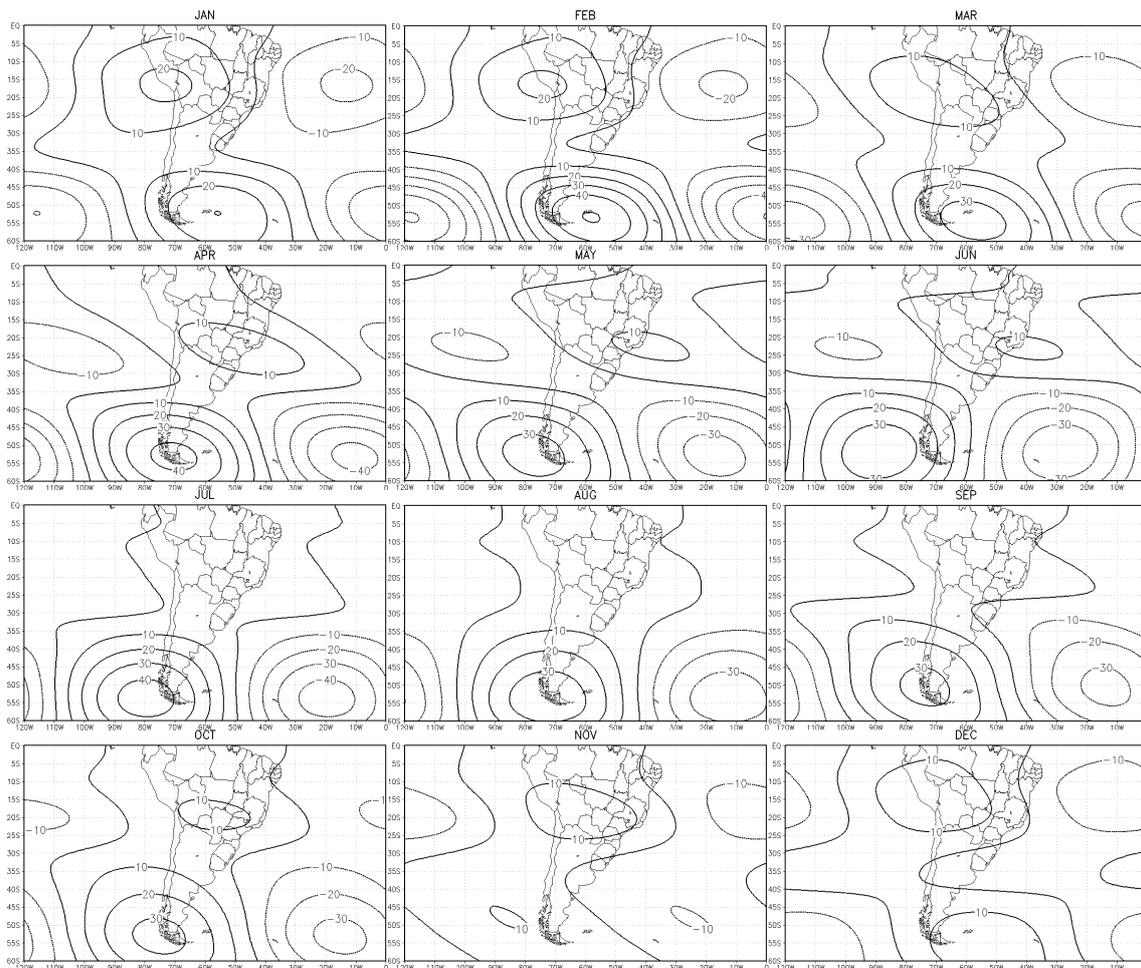


Figura 4.18 - OE 3 na AS em 200hPa (mgp).

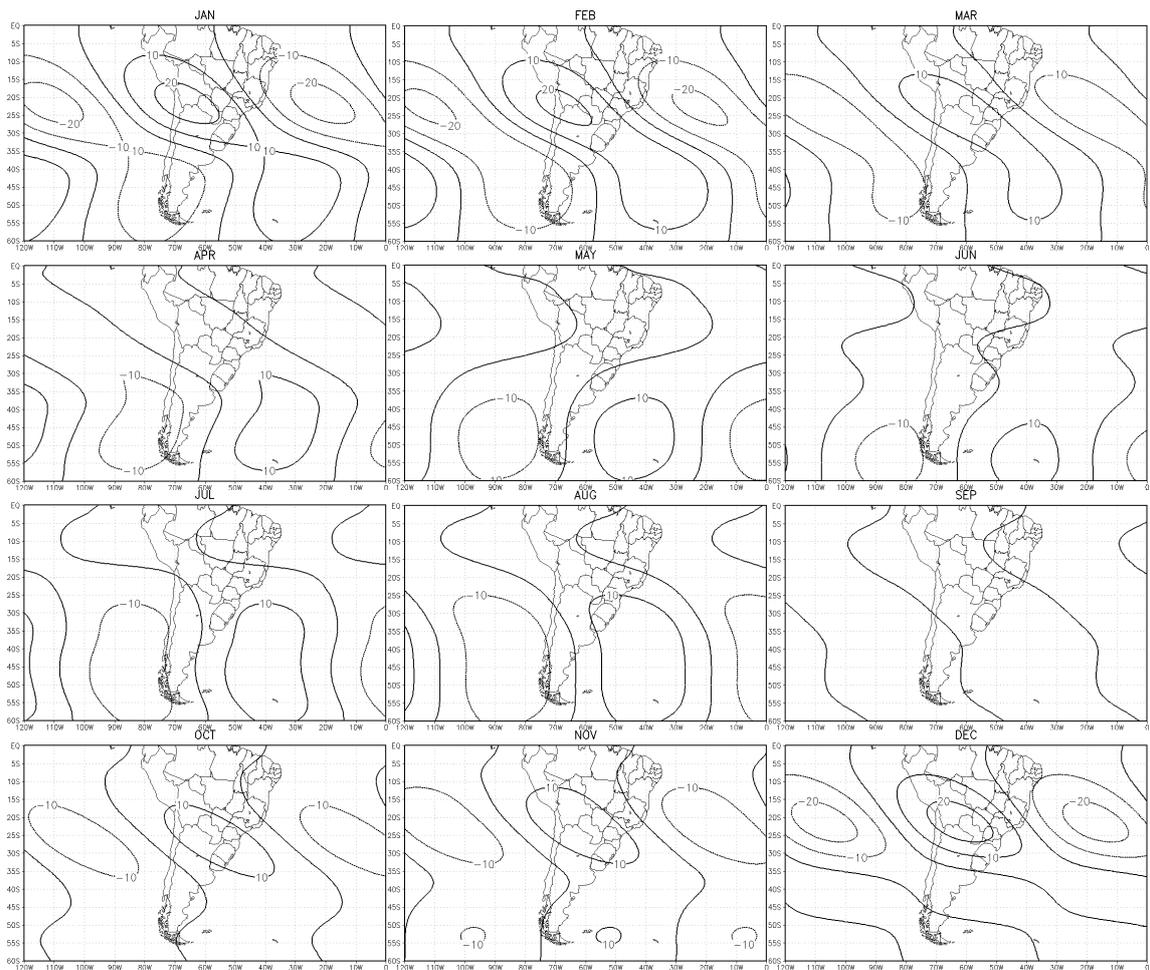


Figura 4.19 - OE 4 na AS em 200hPa (mgp).

#### 4.4 Variação mensal da amplitude e fase das OES

A variação mensal da amplitude total no nível de 200 hPa (Figura 4.20) apresenta uma máxima amplitude nas latitudes próximas a 60°S nos meses de maio a setembro. Também pode ser destacada a maior amplitude nas latitudes entre 10 e 30°S no verão e entre 30° e 40°S no inverno.

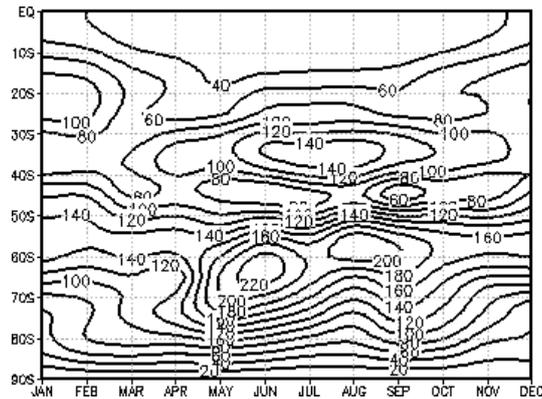


Figura 4.20 - Variabilidade mensal da Amplitude climatológica total das OES no HS (mgp).

A OE 1 é a que tem maior amplitude em quase todas as latitudes, geralmente correspondendo a mais de 50% de representatividade (Figura 4.21). Porém nos meses de verão nas latitudes entre a linha do equador e 40°S, ela é pouco representativa, representando menos de 30% da amplitude total das ondas, abaixo de 30%, fato que indica que devido ao aquecimento durante o verão, outras OEs são amplificadas. As maiores amplitudes ocorrem nas latitudes extratropicais no período de inverno, evidenciando a importância da influência do Pacífico (??), através de teleconexões que existem sobre essa região, e da velocidade da corrente de jato (PEZZI et al., 1996) na amplificação dessa onda.

A OE 2 tem uma amplitude muito menor do que a OE 1 (Figura 4.22), em geral é pouco representativa atingindo uma representação máxima de 28% em latitudes próximo a 40°S nos meses de abril e outubro.

A OE 3, tem um comportamento muito singular, mantendo praticamente a mesma amplitude e uma representatividade que chega aos 48% em uma faixa de latitude praticamente constante entre 40 e 60°S (Figura 4.23). Na OE 3 destaca-se um considerável aumento da amplitude e da representatividade nas latitudes entre 10°S e 20°S de outubro a abril, onde a representatividade atinge valores acima de 24%.

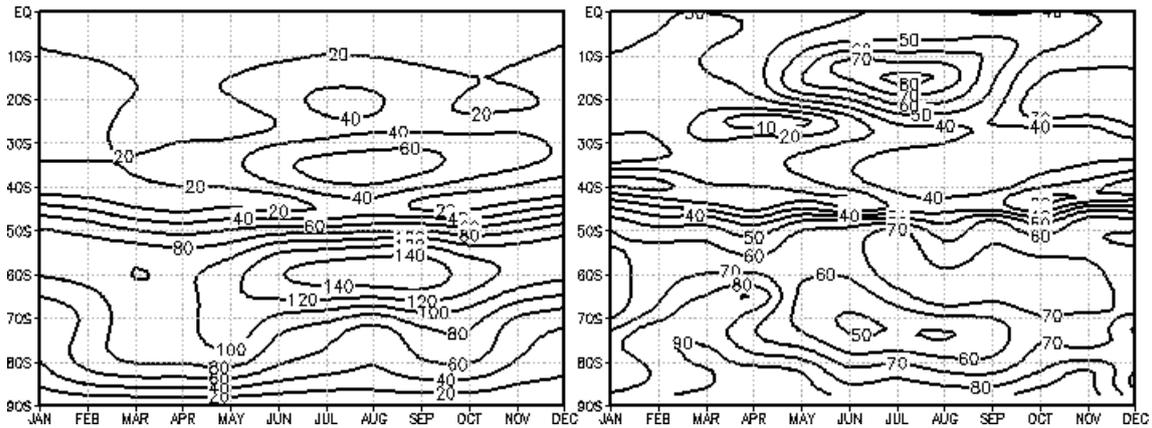


Figura 4.21 - Variabilidade mensal da Amplitude climatológica da OE 1 (mgp) no HS e a percentagem de sua representatividade relativa ao campo total.

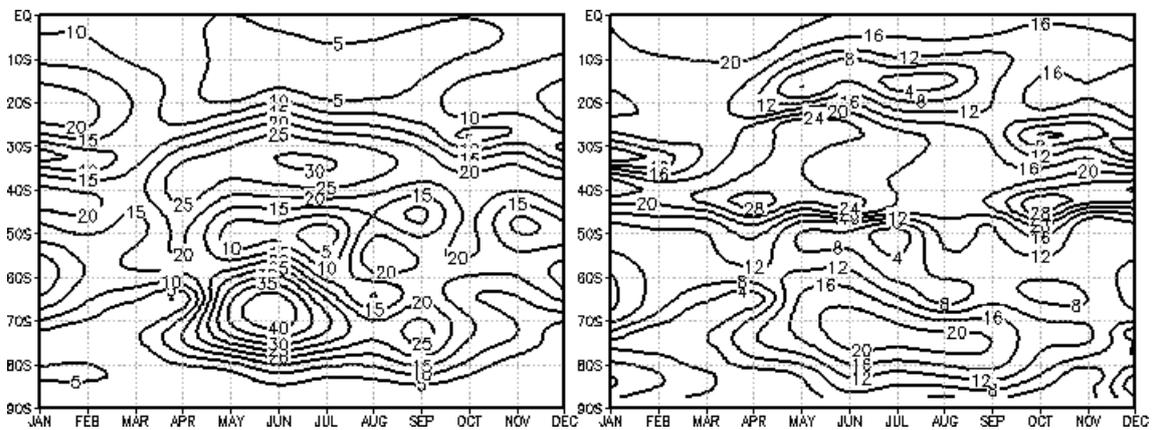


Figura 4.22 - Variabilidade mensal da Amplitude climatológica da OE 2 (mgp) no HS e a percentagem de sua representatividade relativa ao campo total.

A OE 4 atinge os maiores valores de amplitude e representatividade nos meses de outubro a março, nas latitudes entre 10 e 30°S, e também entre 40 e 50°S de maio a agosto (Figura 4.24).

O conhecimento da fase das OEs também é importante para saber sua atuação em um determinado local. A fase da anomalia zonal de geopotencial, considerando todas as ondas, em 30°S é apresentada na Figura 4.25, em que nota-se a presença de uma crista que atua durante todo o ano entre 60°W e 60°E, variando de intensidade durante o ano. Entre 60°E e 60°W há uma crista e cavado nos meses de verão e uma mudança para cavado e crista no outono e inverno, permanecendo um cavado nos meses da primavera.

A fase para cada uma das OEs em 30°S é examinada na Figura 4.26, onde a onda

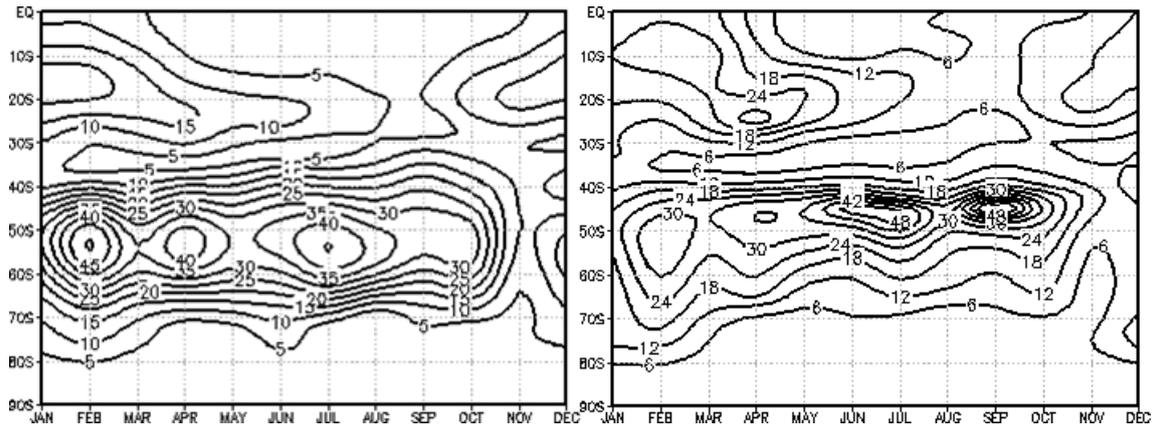


Figura 4.23 - Variabilidade mensal da Amplitude climatológica da OE 3 (mgp) no HS e a percentagem de sua representatividade relativa ao campo total.

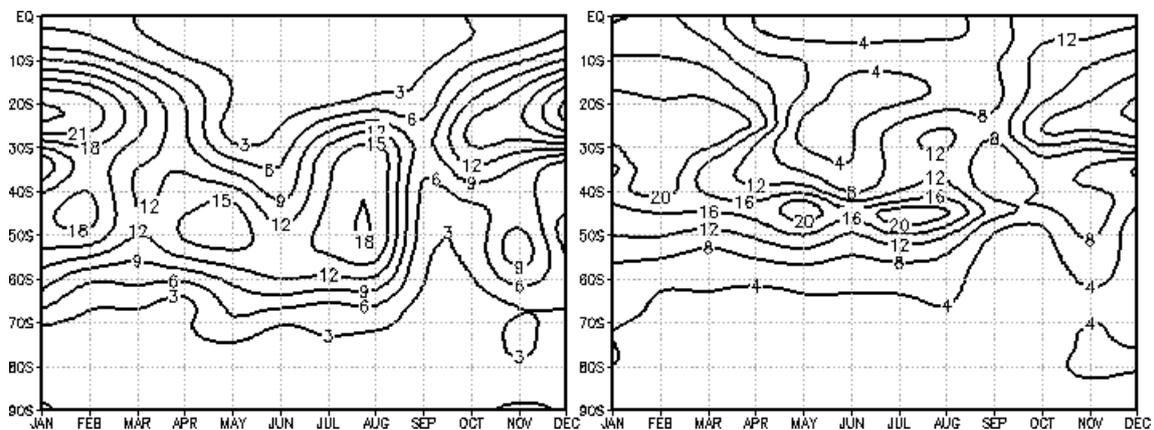


Figura 4.24 - Variabilidade mensal da amplitude climatológica da OE 4 (mgp) no HS e a percentagem de sua representatividade relativa ao campo total.

1 permanece com uma fase negativa entre  $150^{\circ}\text{E}$  e  $120^{\circ}\text{W}$ , permanecendo com uma fase positiva de  $30^{\circ}\text{W}$  a  $60^{\circ}\text{E}$ . Os máximos ocorrem nos meses de agosto e setembro.

A OE 2 muda completamente de fase do verão para o inverno, e do começo do outono para o começo da primavera, há um deslocamento dos centros para leste. No verão, em algumas longitudes, ela praticamente anula a onda 1.

A OE 3 tem amplitude muito pequena nessa latitude, portanto as mudanças na fase não devem ser relevantes para a circulação geral. A OE 4 também tem amplitudes pequenas comparadas às amplitudes das ondas 1 e 2 nos meses de inverno e primavera, porém no verão ela atinge valores maiores do que a onda 2 e 3 e da mesma amplitude da onda 1 em algumas longitudes. Se notarmos o centro de alta próximo a  $60^{\circ}\text{W}$  na Figura 4.25, ele é quase que exclusivamente devido à OE1 OE4 Figura 4.26.

Portanto, no verão a OE 4 mostra ser importante.

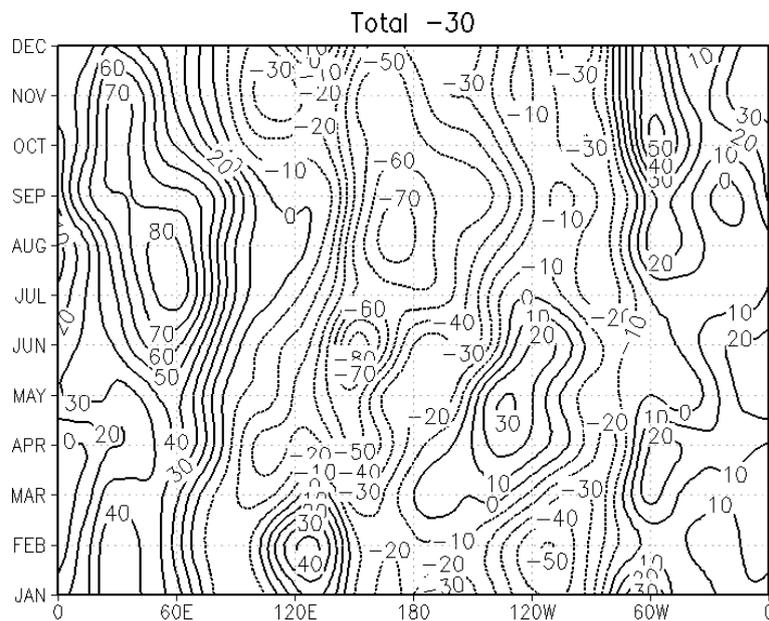


Figura 4.25 - Evolução mensal da anomalia zonal do geopotencial em 30°S em 200hPa (mgp).

Uma análise semelhante pode ser feita para 45°S, onde o campo de anomalia zonal de geopotencial, considerando todas as ondas (Figura 4.27) mostra uma crista e cavado persistentes durante todo o ano, próximo a 60°E e 110°E. Entre 180° e 0° há mudança de fase durante o ano, indicando que nessas latitudes possivelmente há mudanças nas forçantes das OEs, podendo estar relacionadas à intensidade do vento zonal e às diferenças de aquecimento.

Analisando-se as OEs 1 a 4 em 45°S na Figura 4.28, nota-se que as ondas 1 e 3 tem praticamente a mesma amplitude. A onda 1 desloca-se para oeste de janeiro até maio e então desloca-se para leste onde atinge um máximo próximo a 60°W no mês de agosto. As OEs 2 e 4 tem pouca mudança durante o ano, permanecendo aproximadamente nas mesmas longitudes. A onda 3 tem um deslocamento dos centros para oeste, do verão para o inverno, e para leste, do inverno para a primavera.

Fazendo -se a mesma análise para 60°S, nota-se que nessa latitude a onda 1 é muito dominante (Figura 4.29). Na anomalia zonal de geopotencial para todas as ondas, não são observadas grandes mudanças de fase como evidenciado para as latitudes de 30°S e 45°S, permanecendo uma alta atuando de 150°E até 60°W e no restante das longitudes predominando um sistema de baixa. Na Figura 4.30 pode-se notar que a

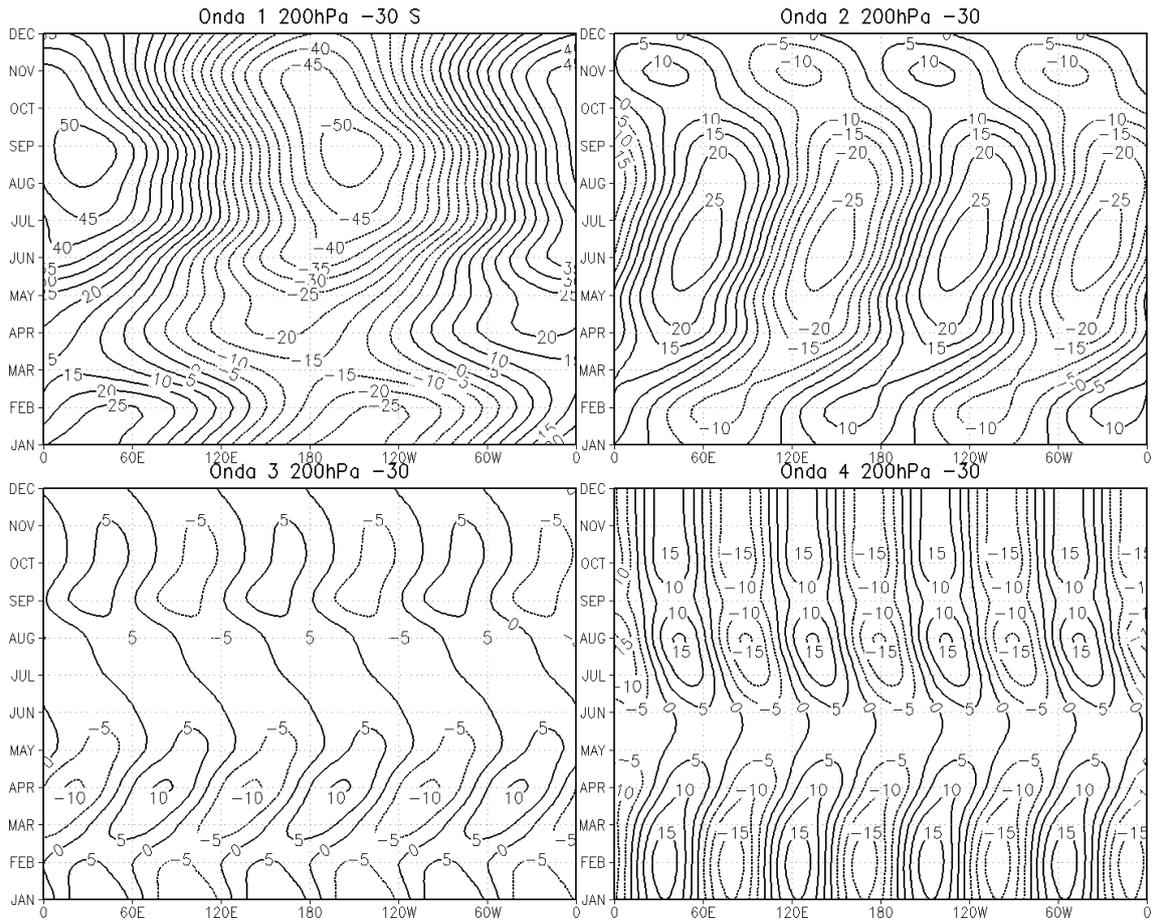


Figura 4.26 - Evolução mensal da amplitude e fase das OEs 1, 2, 3 e 4 em 30°S em 200hPa (mgp).

OE 1 tem uma amplitude muito maior que as outras ondas e é mais intensa nos meses de agosto e setembro, como em 30°S. A OE 1 não tem mudança na fase durante o ano. Na OE 2 é observada uma grande mudança na fase, porém a amplitude é bem menor que a OE 1 nessa latitude. Nessa latitude ela se desloca para leste durante o ano, porém tem uma amplitude pequena comparada à OE 1. A OE 3 tem um leve deslocamento para oeste do verão para o outono e um deslocamento para leste do inverno para a primavera. A OE 4 tem amplitude muito pequena nessa latitude.

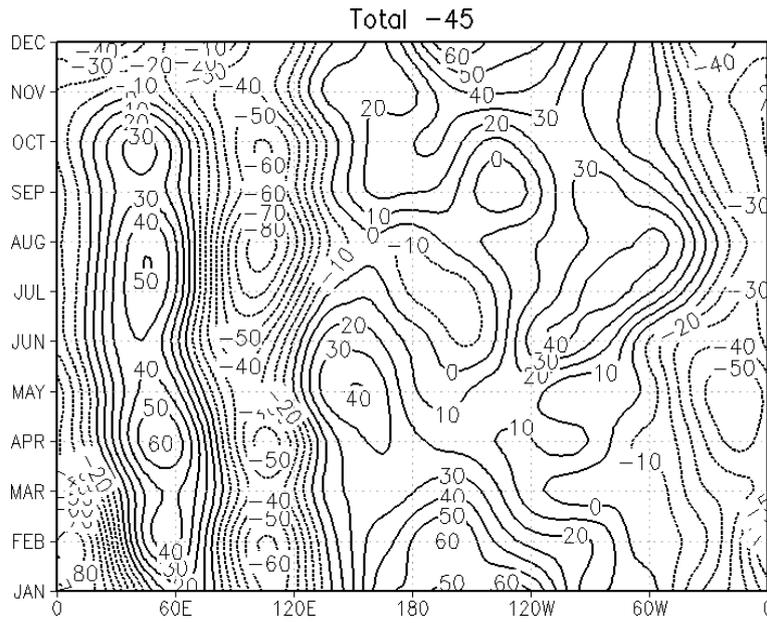


Figura 4.27 - Evolução mensal da anomalia zonal do geopotencial em 45°S em 200hPa (mgp).

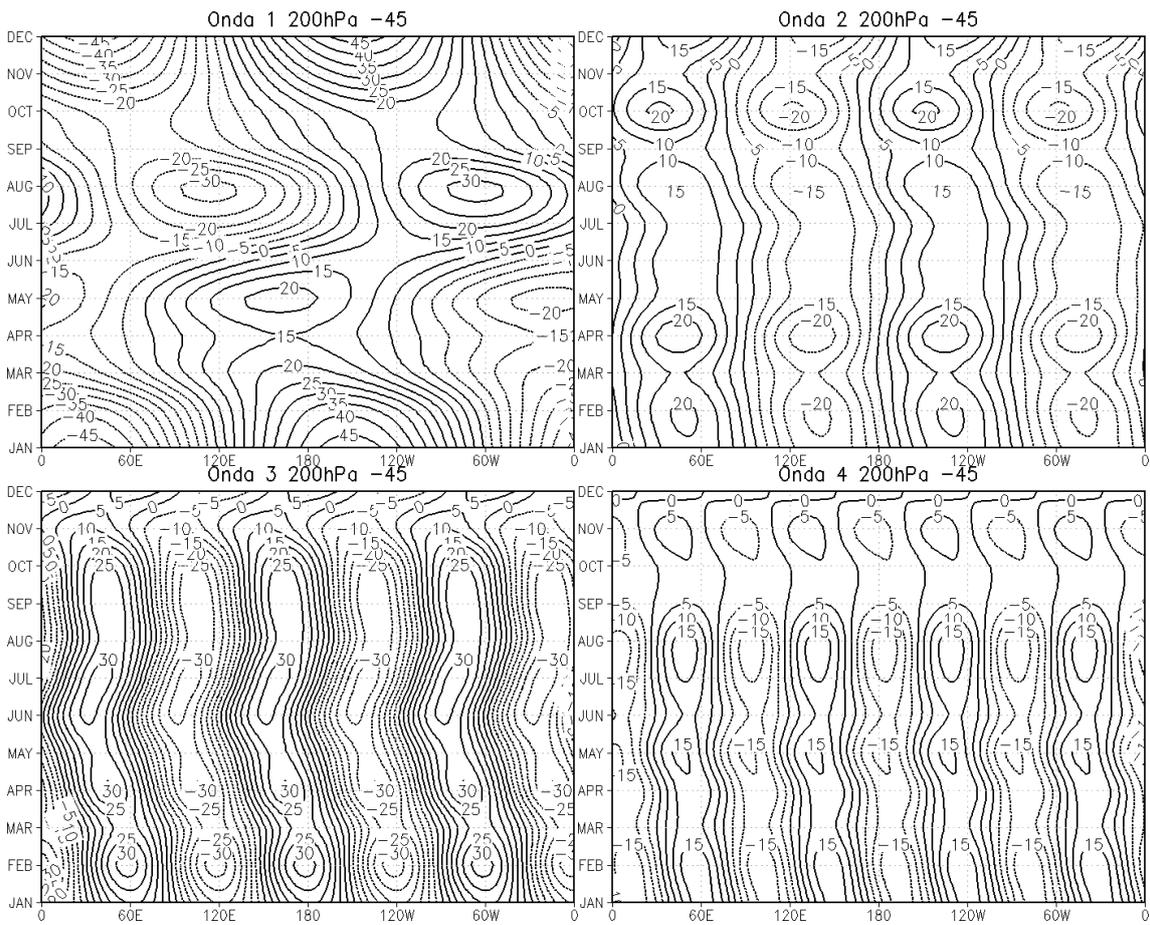


Figura 4.28 - Evolução mensal da amplitude e fase das OEs 1, 2, 3 e 4 em 45°S em 200hPa (mgp).

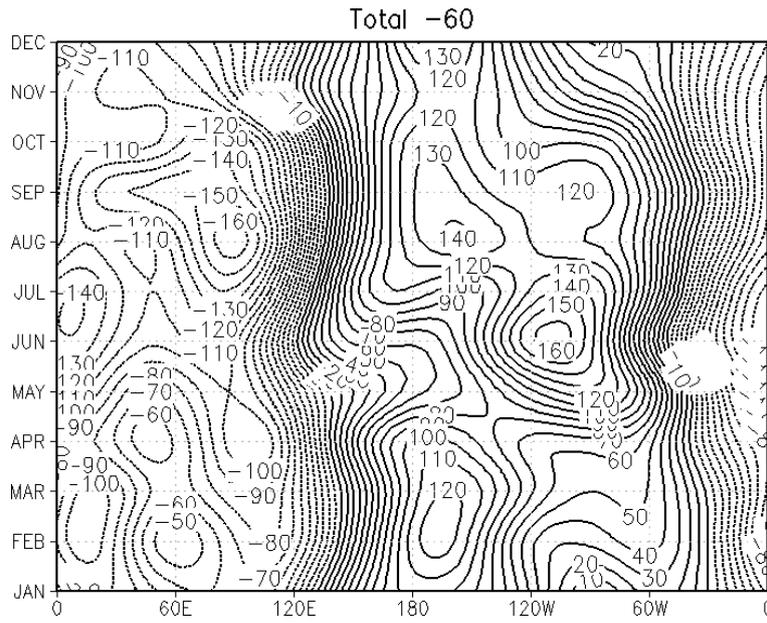


Figura 4.29 - Evolução mensal da anomalia zonal do geopotencial em 60°S em 200hPa (mgp).

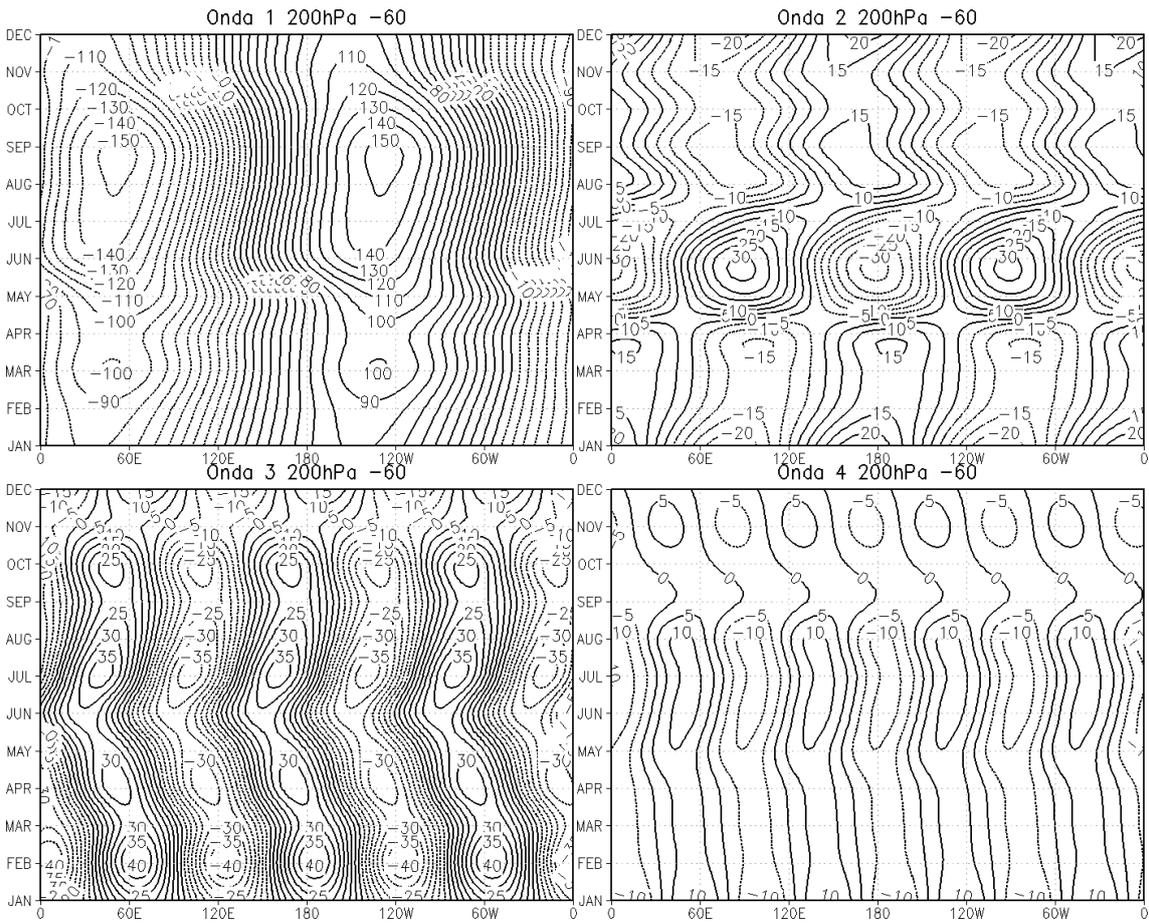


Figura 4.30 - Evolução mensal da amplitude e fase das OEs 1, 2, 3 e 4 em 60°S em 200hPa (mgp).

#### 4.5 Estrutura Vertical da Magnitude das OEs na Região da AS

Nas Figuras 4.31 a 4.44 são apresentados os perfis verticais do campo total quase-estacionário (anomalia zonal de geopotencial) e das OE 1 a 4 para as latitude de 30°S, 45°S e 60°S, entre as longitudes de 120°W e 0°, com o intuito de observar qual é o comportamento das ondas quase estacionárias que atuam sobre a AS.

No campo quase estacionário total em 30°S (Figura 4.31), pode-se identificar alguns padrões estacionários característicos como os de atuação da baixa do Chaco, em baixos níveis, ao redor de 60°W durante todo o ano, mas claramente no verão e da Alta em altos níveis durante os meses de verão. Nota-se também, nos meses de outubro a março, a atuação das Altas Subtropicais do Atlântico e Pacífico em baixos níveis. Interessante notar que há uma intensificação da crista em níveis médios, de junho sobre o Atlântico a agosto, quando o centro máximo se situa sobre a baixa em baixos níveis sobre o continente. De setembro a janeiro, o sistema de alta se eleva, com o núcleo atingindo aproximadamente 150 hPa nos meses de dezembro e janeiro, meses em que climatologicamente ocorrem mais chuvas convectivas sobre a AS.

A OE 1 parece ser mais importante na caracterização da crista sobre o Atlântico, pois nos meses de inverno atinge as maiores amplitudes sobre a região onde se encontra a AS, entre 50°W e 0° (Figura 4.32). No comportamento climatológico da OE2 em 30°S (Figura 4.33), nota-se um centro de baixa em altos níveis que se estende até a superfície sobre o leste da AS/ Atlântico, no inverno. A OE 3 parece ter pouca importância na latitude de 30°S (Figura 4.34), onde raramente atinge valores superiores a 10 mgp. A OE 4 parece ter importância sobretudo nos meses de verão em altos níveis e em baixos níveis, devendo contribuir principalmente nas circulações de verão na AS, como a Alta da Bolívia e ZCAS (Figura 4.35).

No campo quase estacionário total em 45°S, apresentado na Figura 4.36, destaca-se um par de alta -baixa que estão bem definidos em junho, cuja alta atinge a superfície em agosto e setembro, e o centro de baixa aparece mais intenso sobre o Atlântico em altos níveis no mês de outubro. A OE 1 em 45°S age mais intensamente sobre os oceanos, com uma crista sobre o oceano Pacífico e um cavado sobre o Atlântico (Figura 4.37), com a crista dominando quase que toda a longitude mostrada em agosto, setembro e outubro.

A OE 2 não tem grande influência sobre o campo total, raramente atingindo valores superiores a 20 mgp (Figura 4.38).

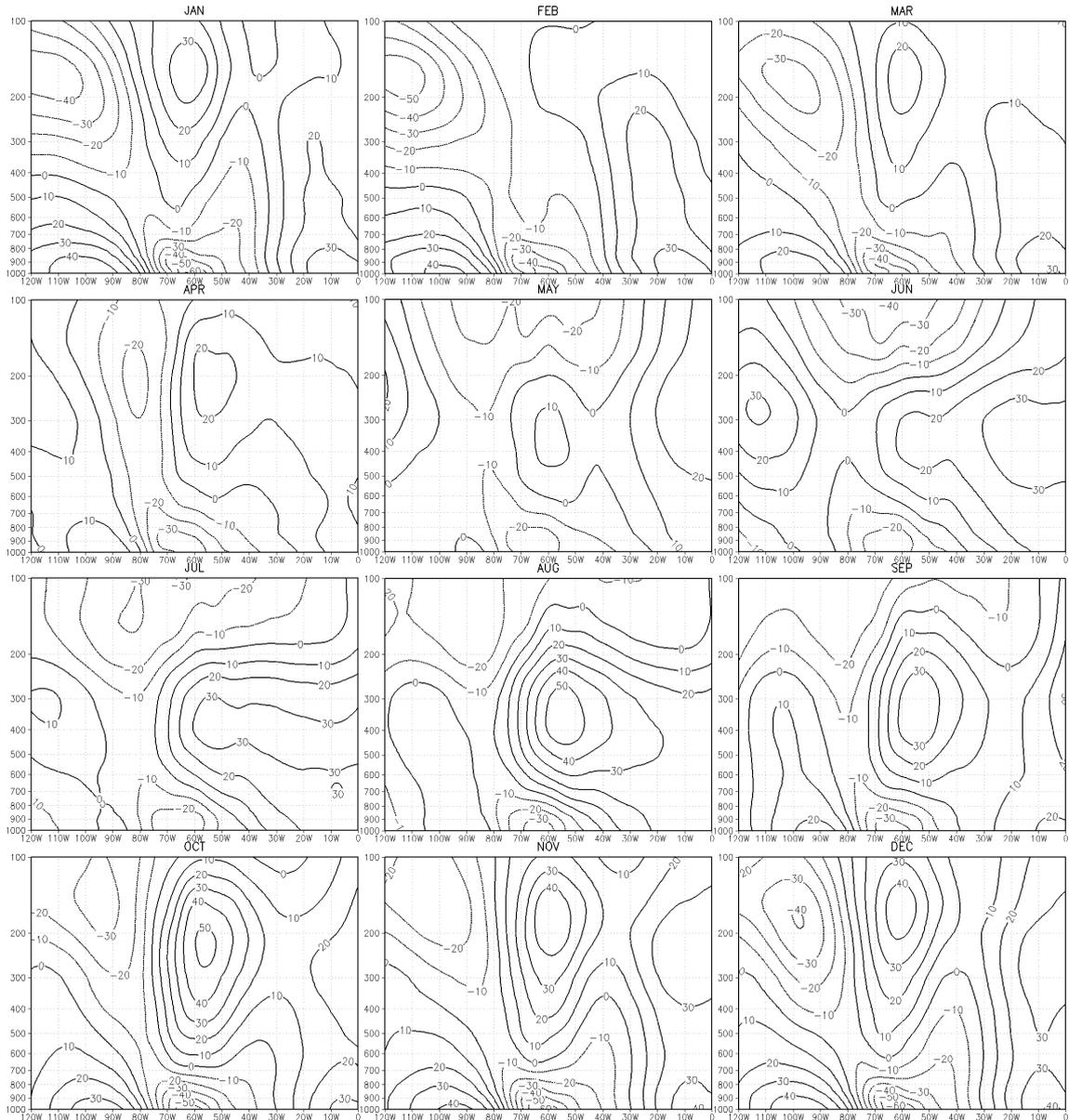


Figura 4.31 - Estrutura vertical da anomalia zonal do geopotencial em 30°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

Por outro lado, a OE 3 tem grande importância nessa latitude tendo uma amplitude sempre maior que 30 mgp com núcleo em torno de 300 hPa, aparecendo mais intensa de abril até setembro, e também no mês de fevereiro, praticamente não existindo no mês de dezembro (Figura 4.39). A OE 4 tem uma pequena amplitude nessa latitude e também deve ter pouca contribuição para o campo total (Figura 4.40).

Em 60°S as OE mais importantes são as OE 1, OE 2 e OE 3, conforme visto também na Figura 4.2. A onda 4 tem amplitudes e representatividade quase nula nessa

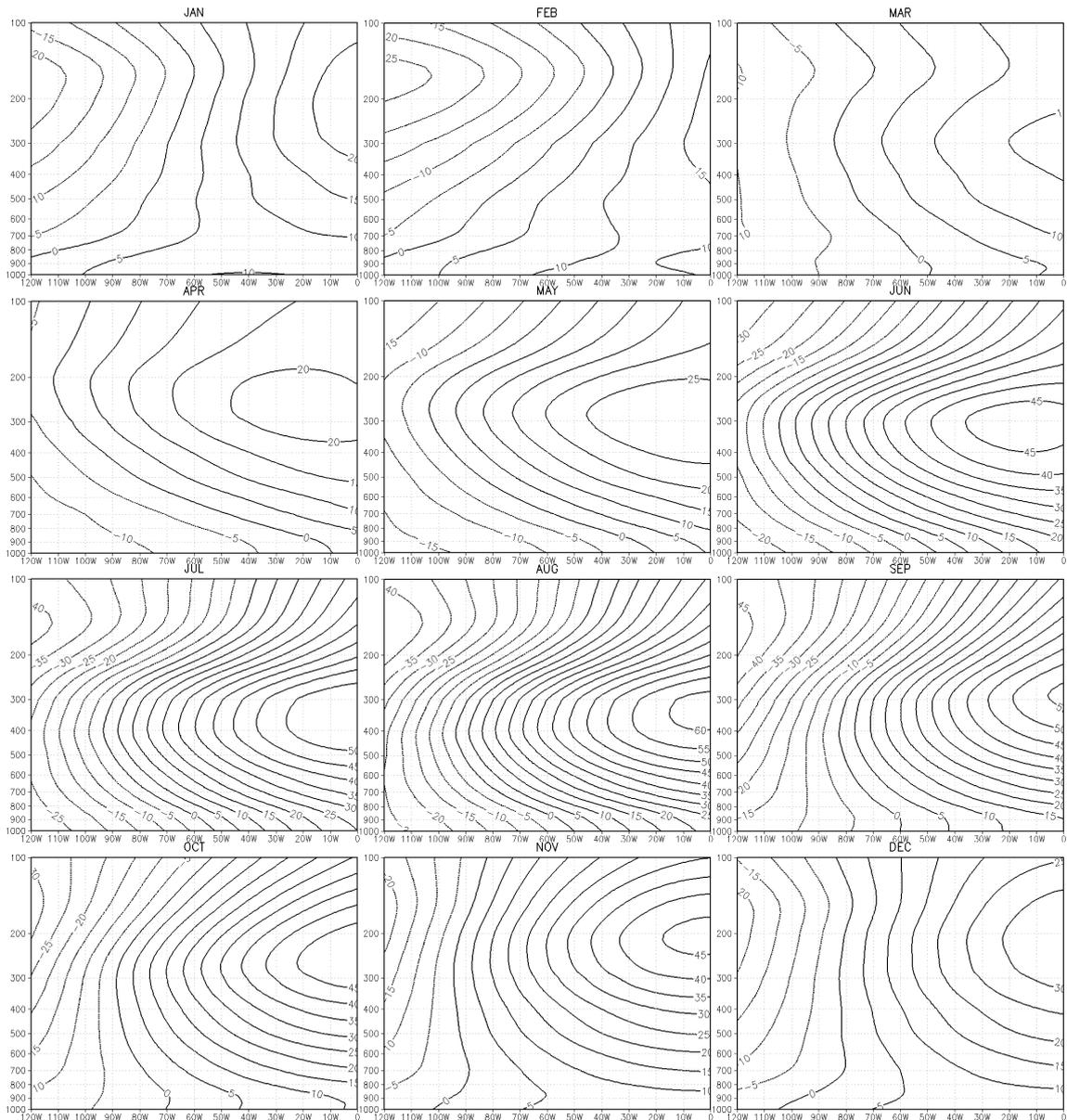


Figura 4.32 - Estrutura vertical OE 1 em 30°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

latitude. Na Figura 4.41 é apresentado o campo quase estacionário total para 60°S, onde se observa uma crista atuante no lado do oceano Pacífico e um cavado no lado do Atlântico mais intensos nos meses de inverno e enfraquecendo no verão.

Na Figura 4.42 pode-se observar o comportamento da OE 1 em 60°S que é muito parecido com o campo total, a OE 2, embora com amplitude muito menor que a OE 1, age no sentido contrário (fase diferente), com uma alta do lado do Atlântico, presente de agosto até abril (Figura 4.43). A OE 3 apresenta valores máximos onde as OEs 1 e 2 mudam de fase, e portanto ela deve ter um papel importante na

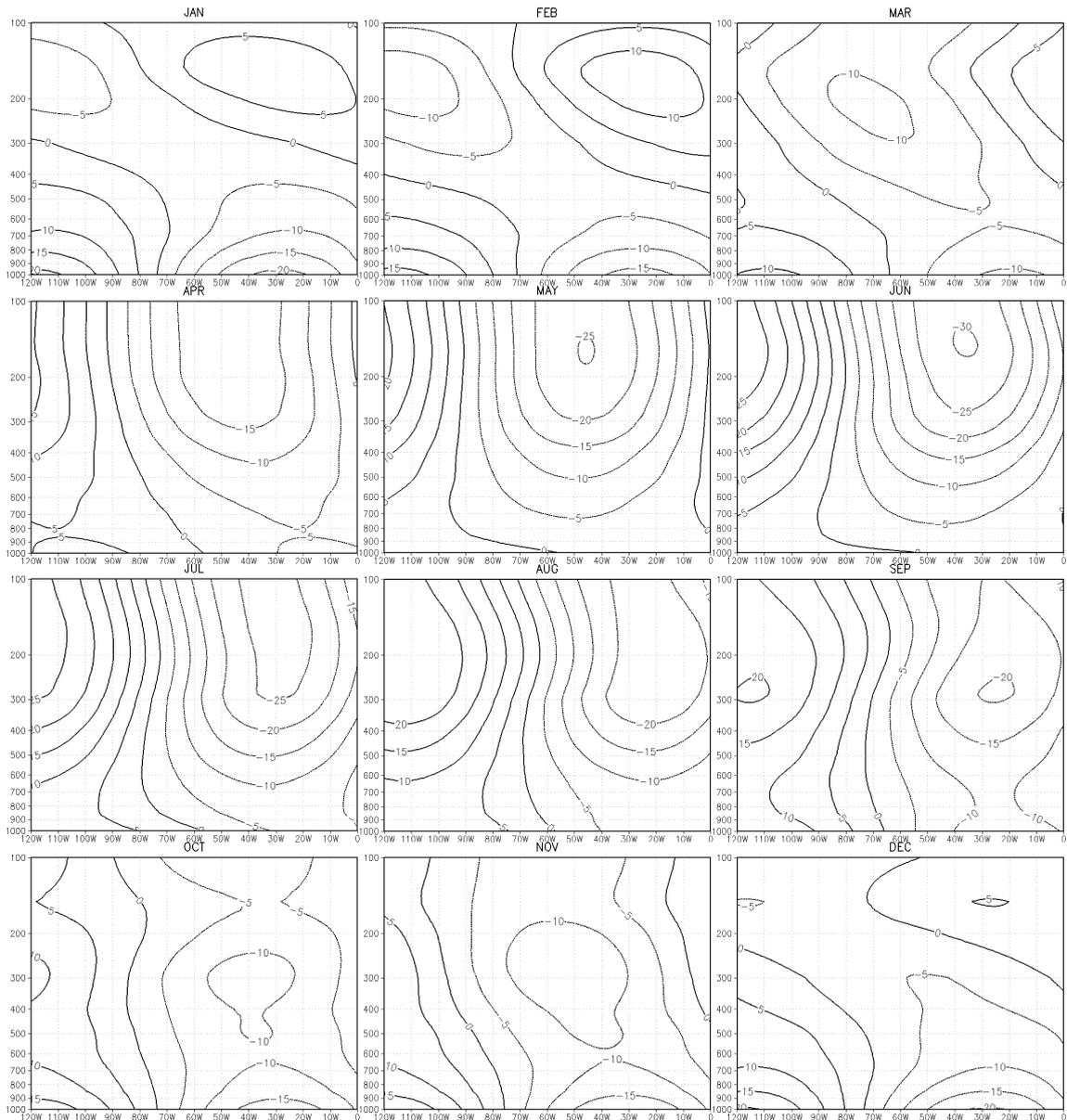


Figura 4.33 - Estrutura vertical OE 2 em 30°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

caracterização da circulação nessa latitude (Figura 4.44), com a amplitude máxima próximo a 60°W e 300 hPa de dezembro até abril, com uma leve migração para oeste nos meses de inverno.

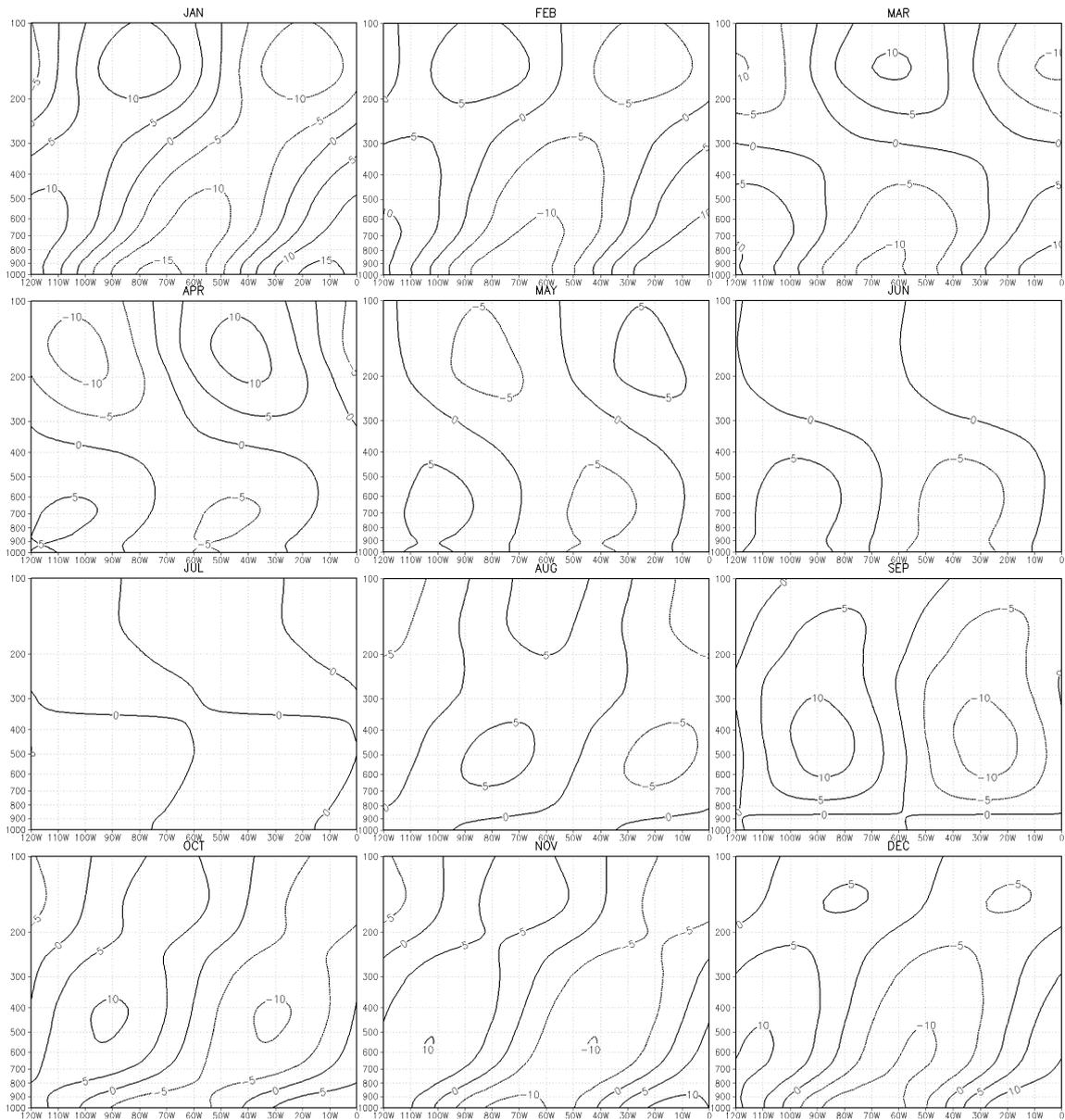


Figura 4.34 - Estrutura vertical OE 3 em 30°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

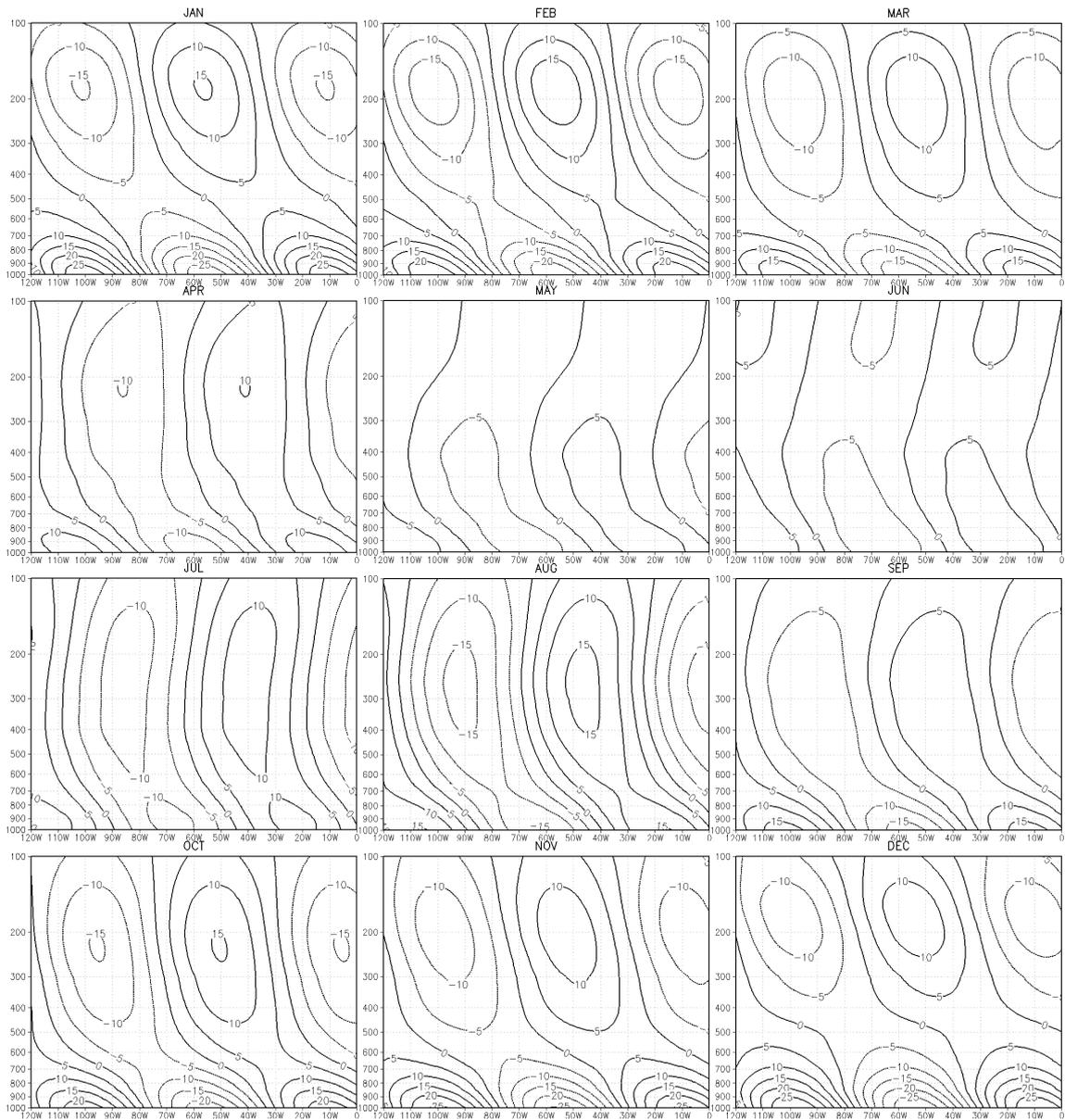


Figura 4.35 - Estrutura vertical OE 4 em 30°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

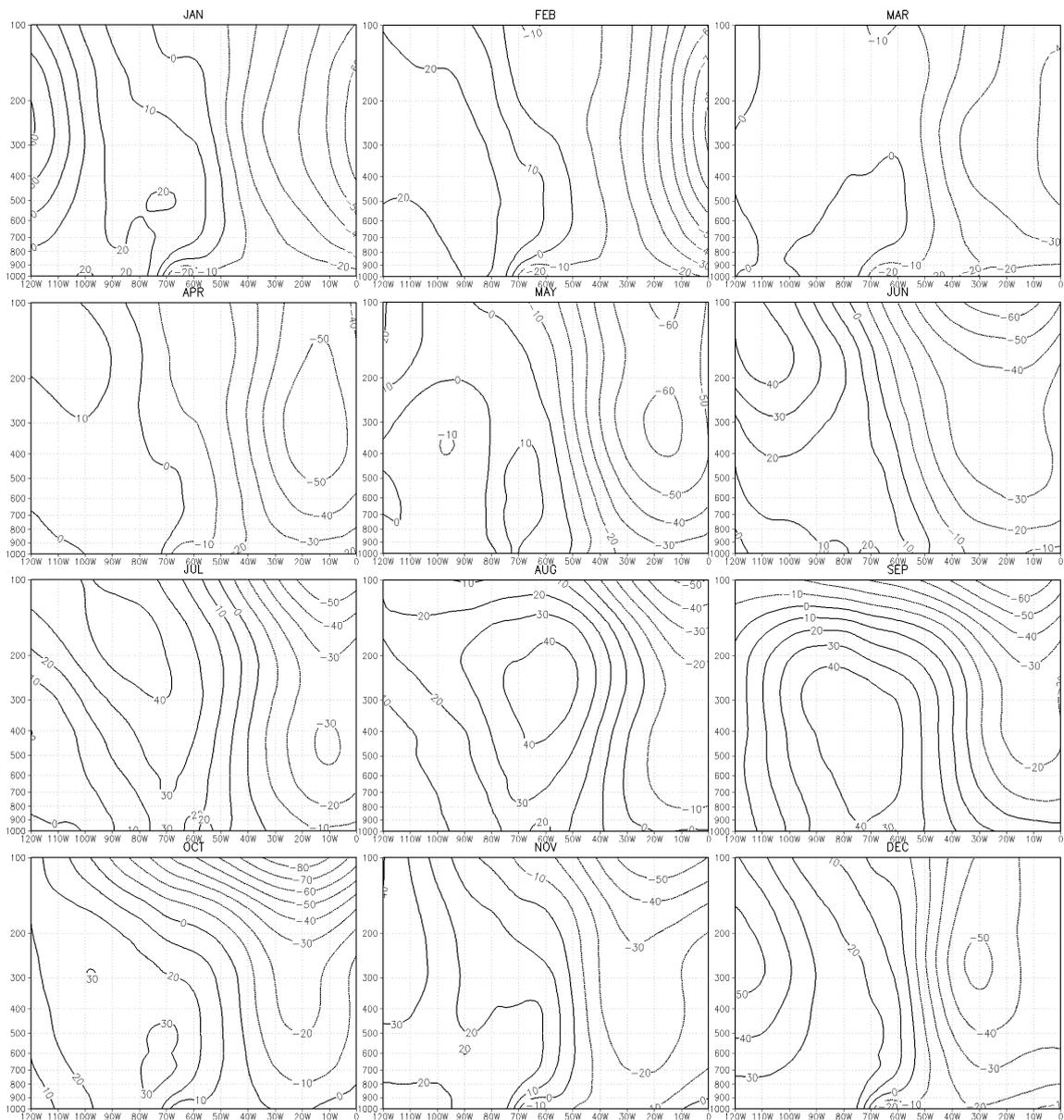


Figura 4.36 - Estrutura vertical da anomalia zonal do geopotencial em 45°S, de 0° a 120°W em 200hPa (m/g).

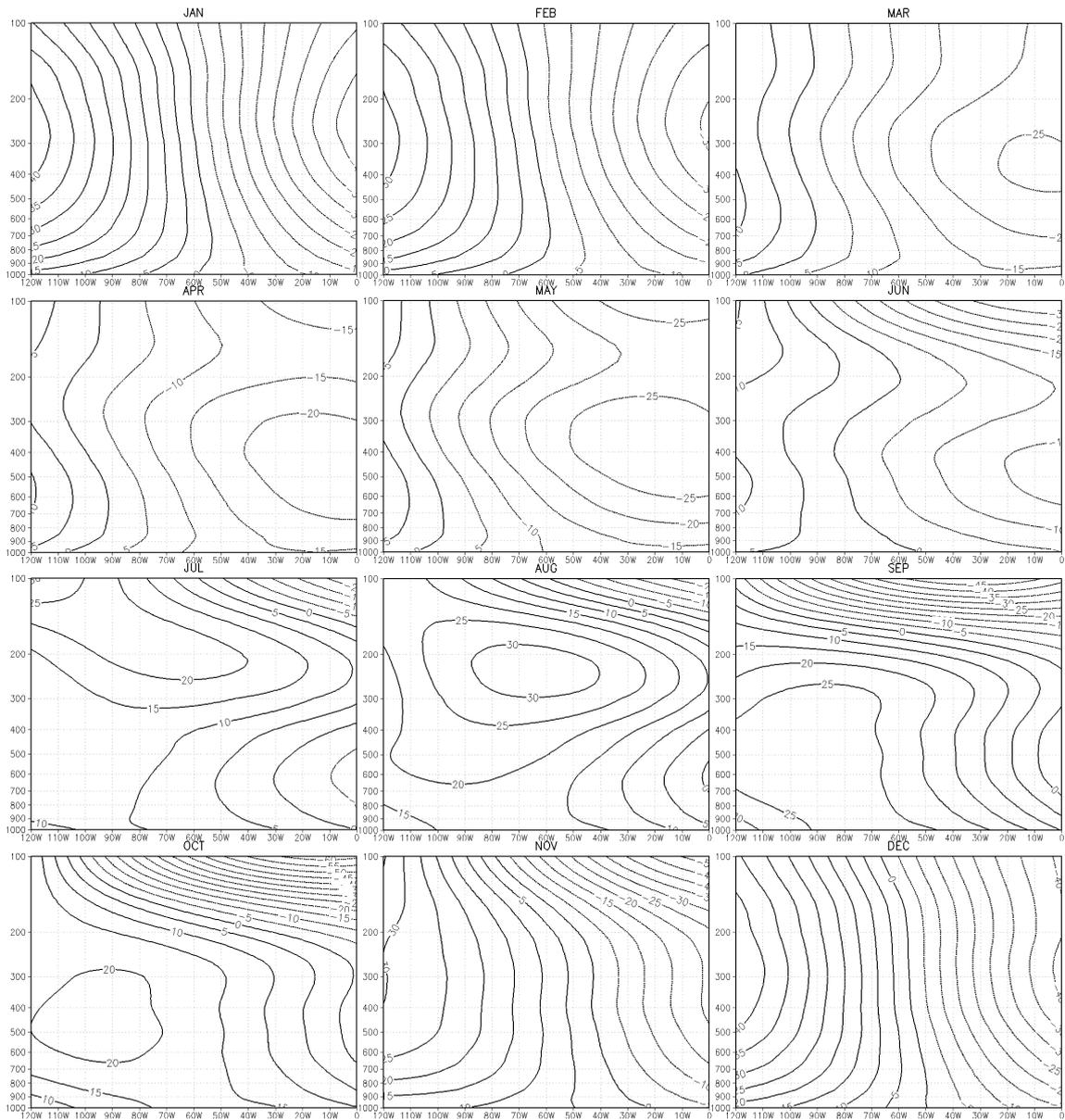


Figura 4.37 - Estrutura vertical OE 1 em 45°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

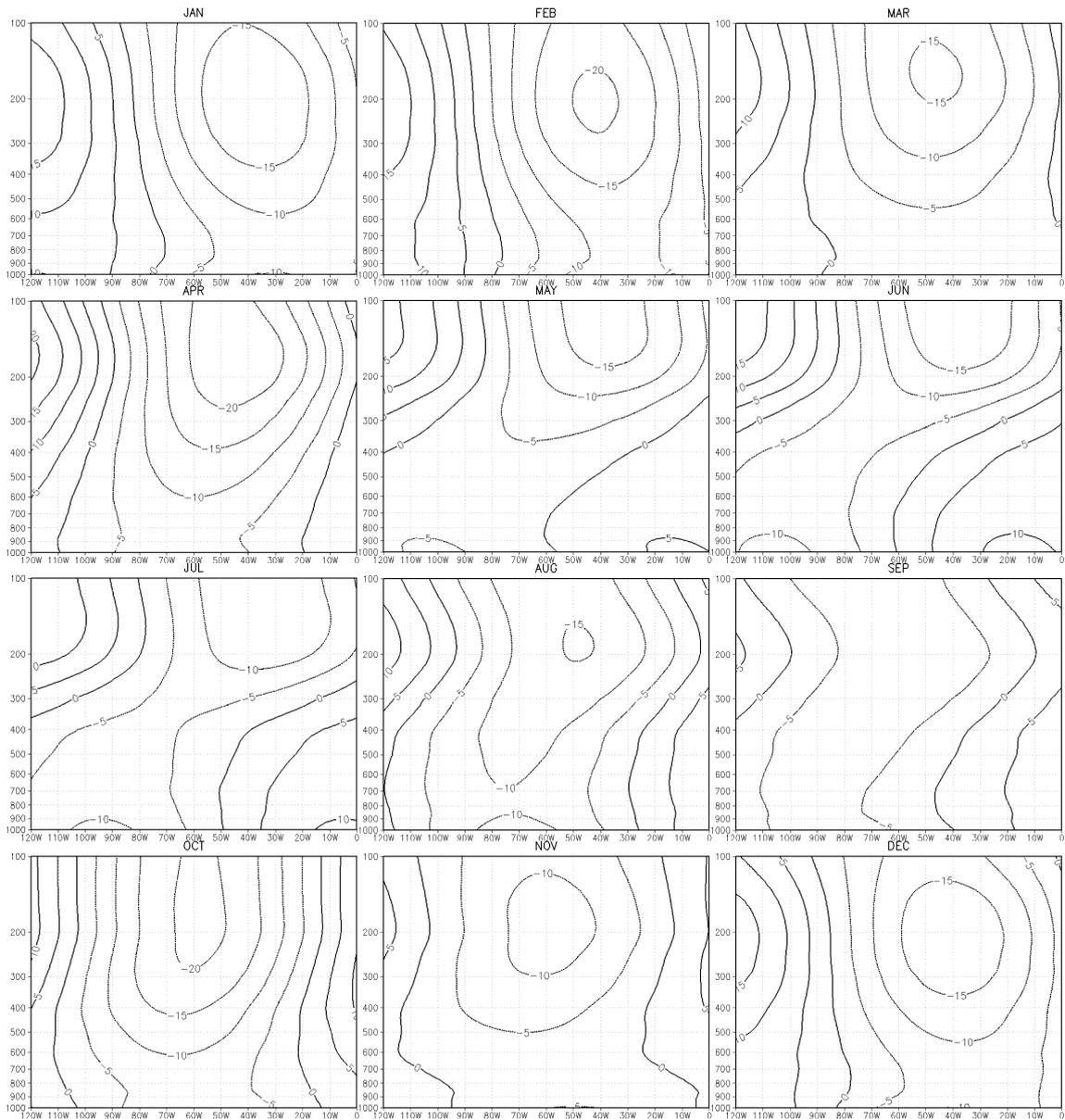


Figura 4.38 - Estrutura vertical OE 2 em 45°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

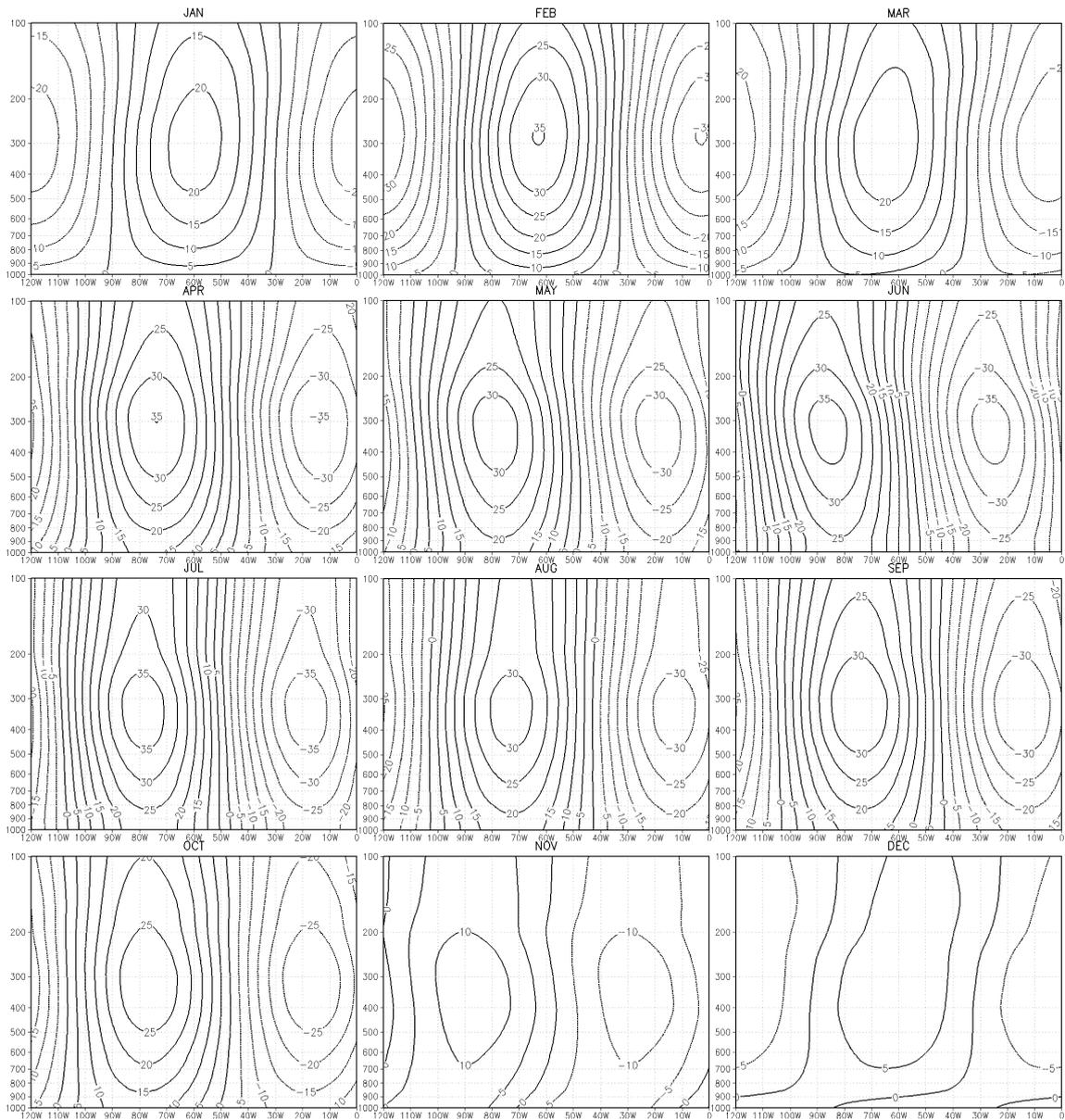


Figura 4.39 - Estrutura vertical OE 3 em 45°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

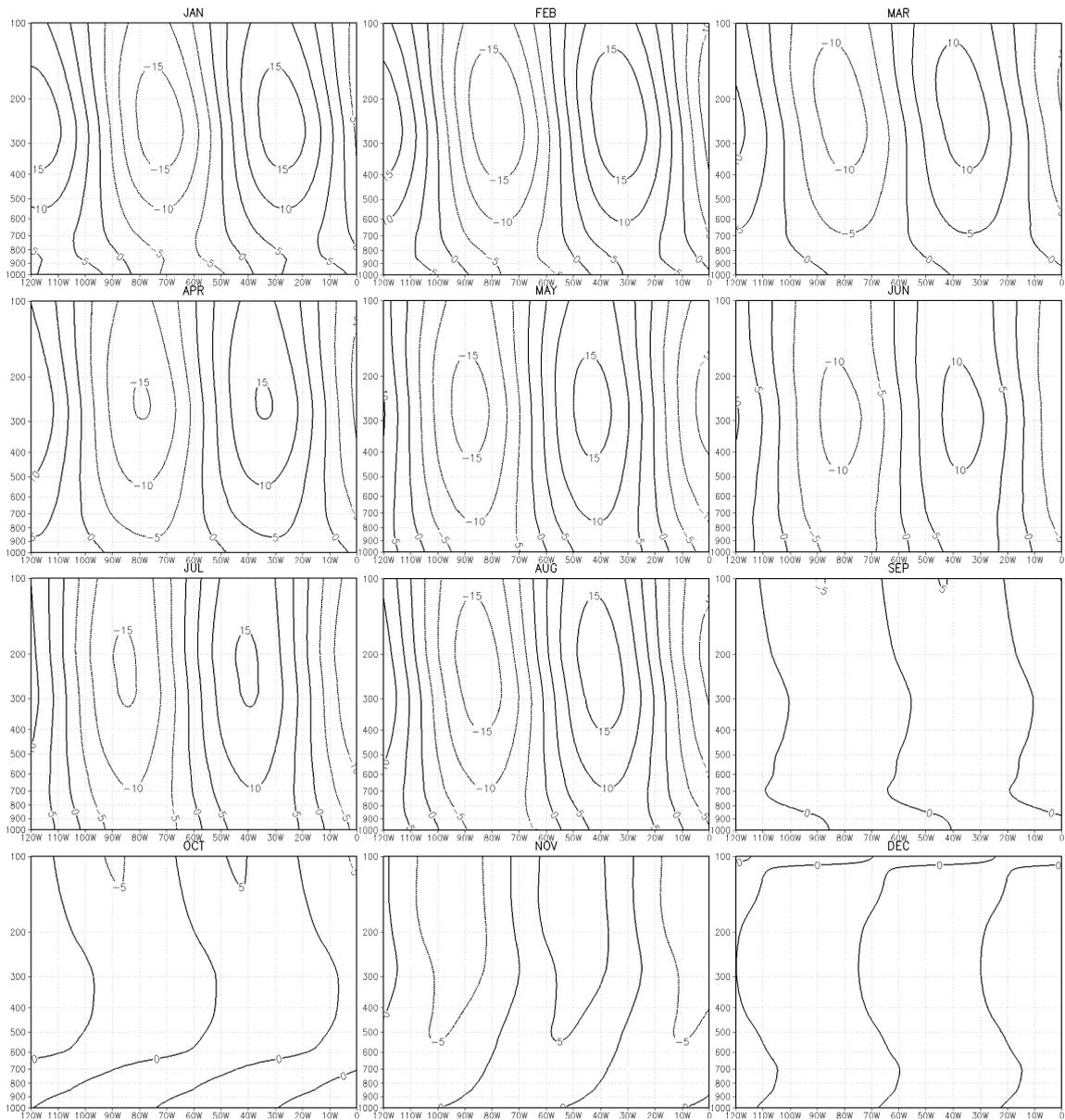


Figura 4.40 - Estrutura vertical OE 4 em 45°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

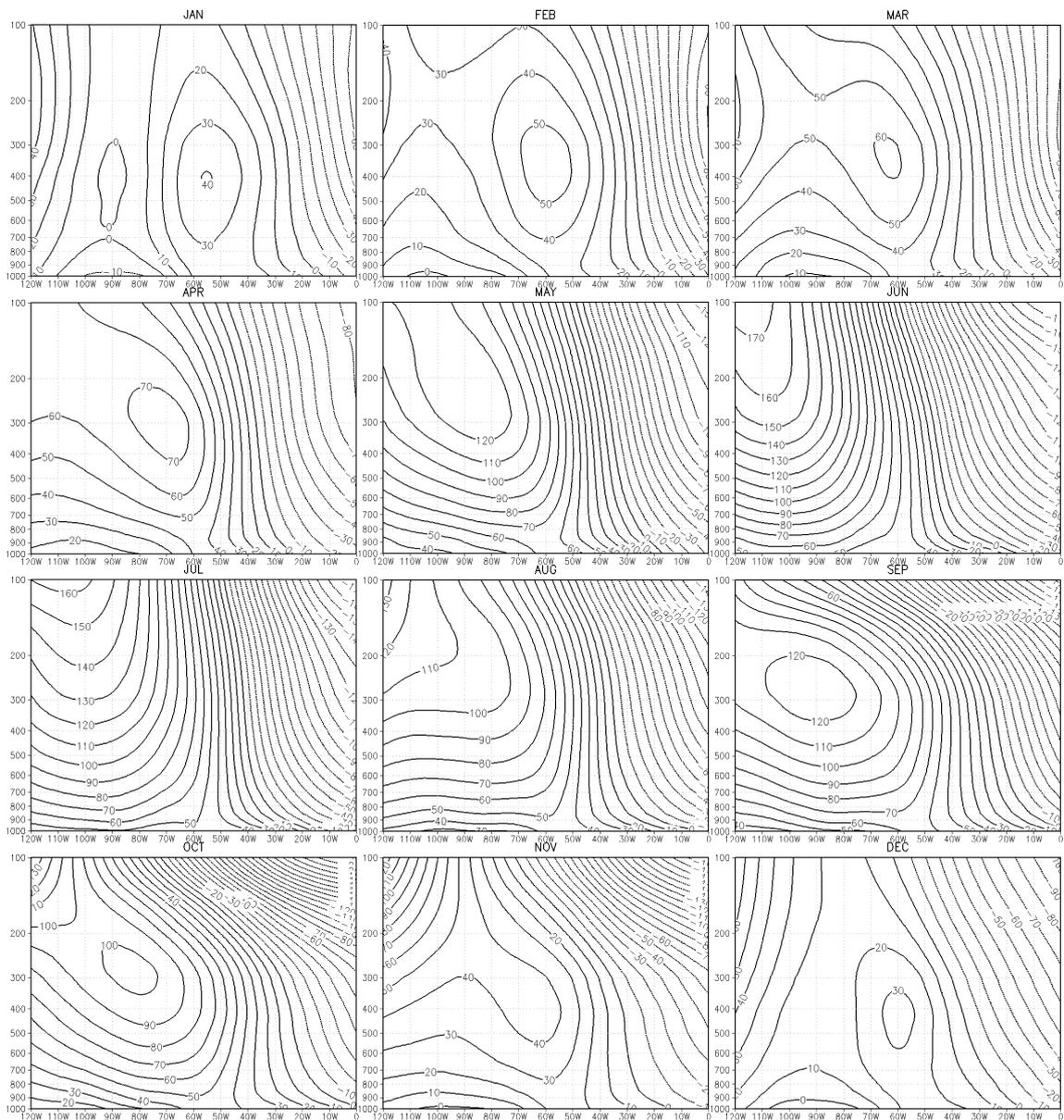


Figura 4.41 - Estrutura vertical da anomalia zonal do geopotencial em 60°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

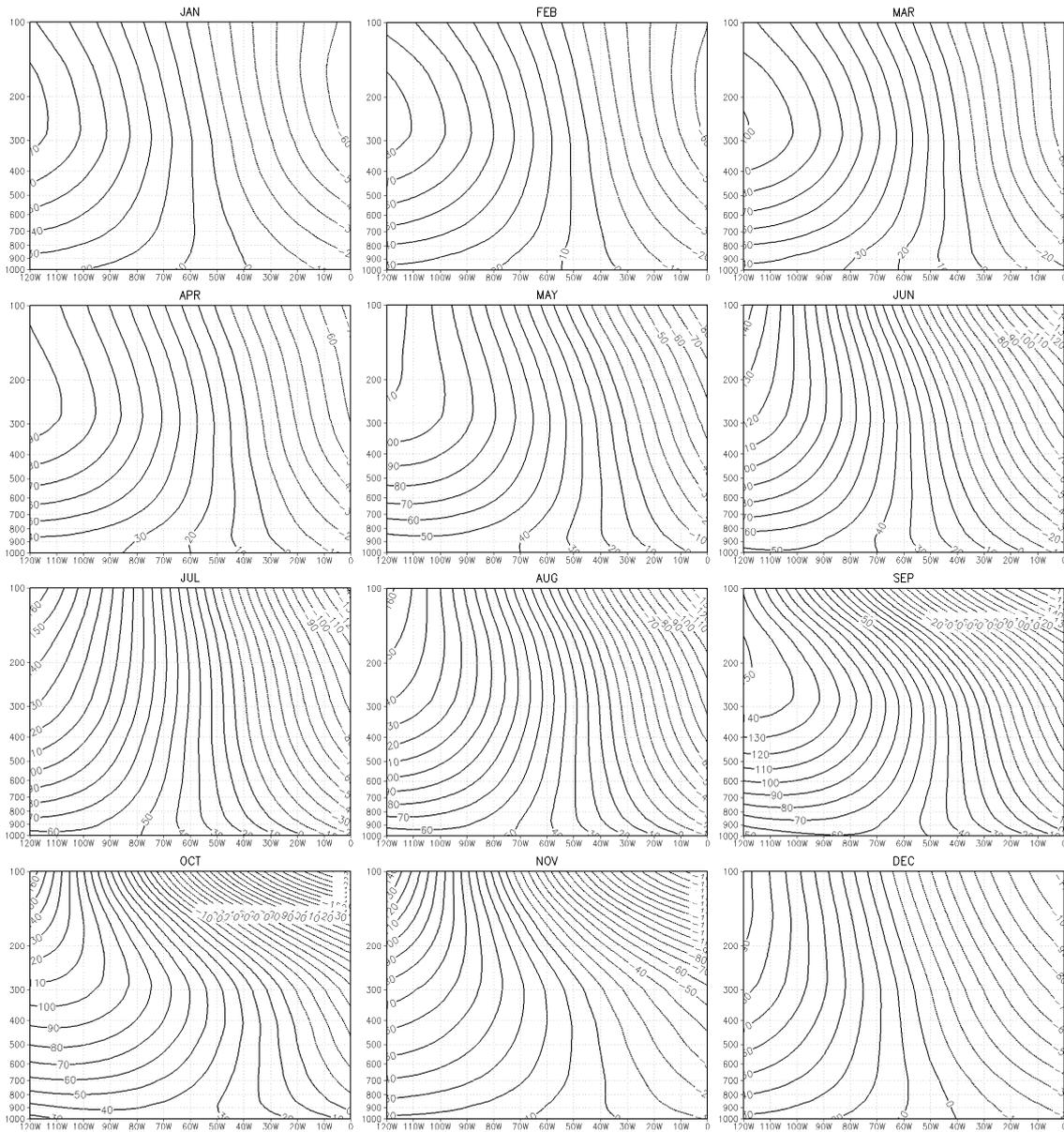


Figura 4.42 - Estrutura vertical OE 1 em 60°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

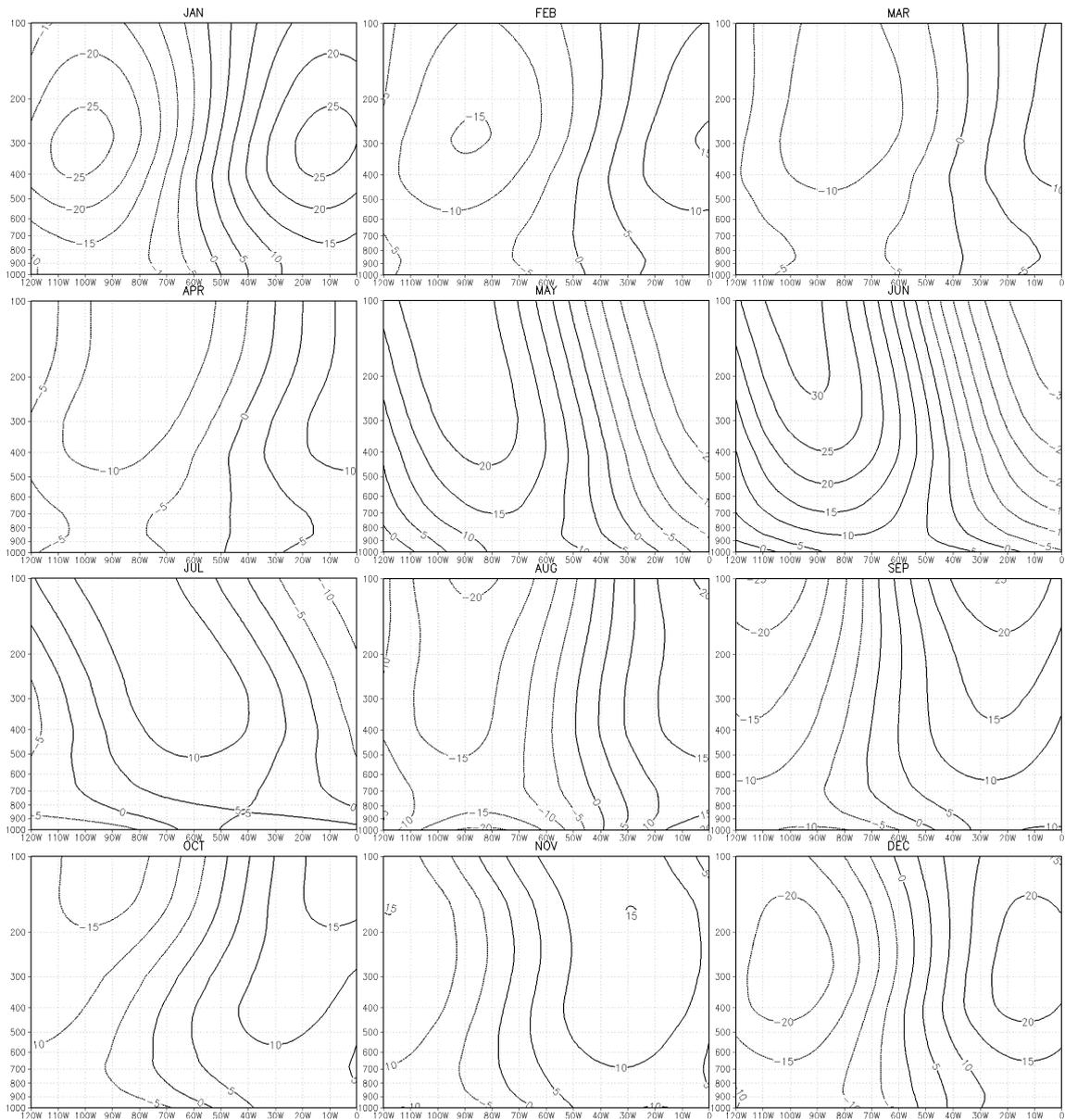


Figura 4.43 - Estrutura vertical OE 2 em 60°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

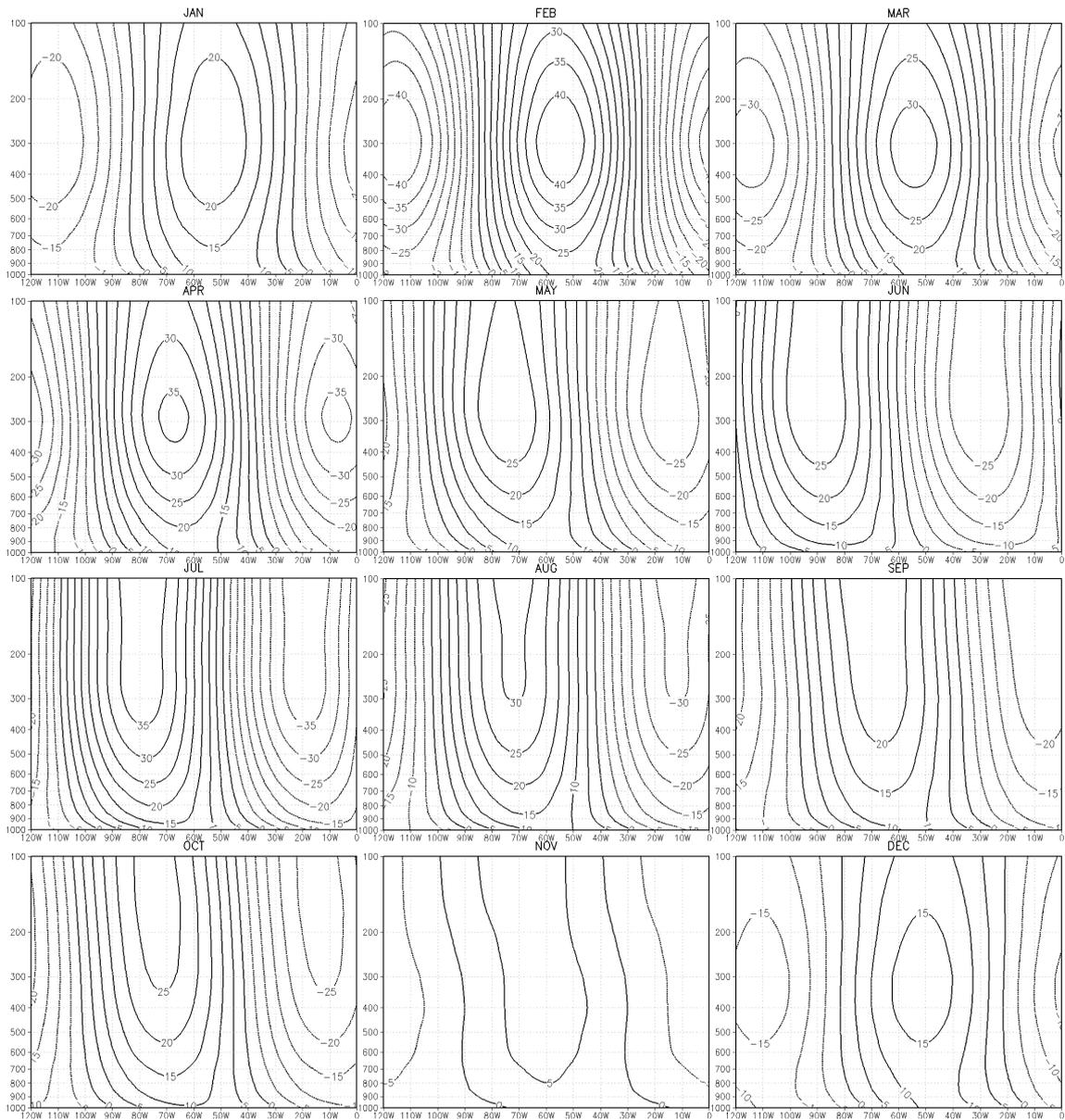


Figura 4.44 - Estrutura vertical OE 3 em 60°S, de 0° a 120°W em 200hPa (mgp).

#### 4.6 Considerações sobre as OEs sobre a AS e o papel da OE 4 na circulação de verão

Considerando-se a distribuição das OEs 1 a 4 no nível de 200, a OE 1 tem uma grande amplitude em torno de 20-30°S somente no inverno nessa região (Figura 4.16 a 4.19). Analisando os harmônicos de dados de topografia, Peixoto et al. (1964), mostrou que a OE 1 tem maiores amplitudes nessas latitudes, no inverno. Outro fator que força as OEs é a intensidade do vento zonal (HOLTON, 2004). Como o vento zonal é mais intenso no inverno, nos leva a crer que a principal forçante da onda 1 é a topografia.

A máxima amplitude da OE 2 (Figura 4.17) é observada no inverno sobre o Pacífico Sul em torno de 30°- 35°S e 100-120°W. Como esse máximo é localizado sobre o Oceano, nos leva a acreditar que a TSM nessas regiões poderia fornecer calor sensível forçando a OE 2, relativamente fraca nessas regiões.

A OE 3 (Figura 4.18) tem características interessantes na região da AS. No verão a estrutura da OE 3 mostra 2 máximos, um em torno de 15°S-20°S e outro em torno de 55°S. Examinando o papel da topografia em Peixoto et al. (1964) nota-se que em baixas latitudes, de 15° e 20°S a OE 3 tem um máximo. Como esse máximo é observado no verão, podemos inferir que ambos os fatores topografia e aquecimento podem ser importantes na sua caracterização. O segundo máximo entre 45°S e 60°S está presente quase que o ano todo, exceto em novembro e dezembro. Verificando-se a relação entre a amplitude da OE 3 e a topografia, Peixoto et al. (1964), mostrou que nessas latitudes a topografia é baixa. Como esse máximo é praticamente constante, provavelmente o aquecimento não deve desempenhar papel importante nesse máximo. Assim as forçantes devido à atuação de transientes deve ser importante nesse máximo (QUINTANAR; MECHOSO, 1995b). A ocorrência da onda 3 nas latitudes mais altas também foi associada à orografia da Antártica em experimentos com um modelo baroclínico em Cavalcanti (2000).

Verificando o transporte de momentum e calor pelas OE, mostrado em Karoly (1985), o transporte de calor é fraco, mas o transporte de momentum tem um máximo intenso justamente nessas latitudes. Esse comportamento sugere que a causa da máxima amplitude da OE 3 nessas latitudes são efeitos não lineares devido a OEs transientes baroclínicas. O transporte de calor é fraco, pois as OE aparentemente são barotrópicas no HS.

A OE 4 (Figura 4.16) possui um máximo na região central da AS somente no verão, nas latitudes de 10-25°S. Um aspecto muito interessante é que a estrutura horizon-

tal mostra uma inclinação NO-SE, a qual coincide com o padrão bem conhecido da estrutura da ZCAS e também a inclinação NO-SE de máximo de precipitação (QUADRO, 1994). Essa inclinação NO-SE mostra um transporte de momentum de norte para sul (HOLTON, 2004) e transporte de energia para norte nas regiões de ventos de oeste (ELIASSEN; PALM, 1961). A dominância da OE 4 no geopotencial em 200 hPa, na temperatura em 1000 hPa e na OLR de novembro a fevereiro é mostrada na Figura 4.45. Nessa Figura também é identificada a dominância da OE 1 e 4 no geopotencial em 200 hPa principalmente em dezembro e janeiro (OE 4), enfraquecendo depois.

Nas análises de OLR nota-se que a dominância no verão ocorre com a OE 4, assim como nas análises com a temperatura próximo à superfície (Figura 4.45). As análises anteriores sugerem uma forte conexão da OE 4 com a ZCAS e a AB, indicando que a AB inicialmente é gerada por calor sensível mesmo com um centro fraco, e pode ser associada com a bem conhecida baixa do Chaco, também associada com o calor sensível no verão. Uma vez que é formação uma baixa quente na superfície, gera uma alta em altos níveis da troposfera. Esses resultados indicam que a alta da Bolívia inicia-se com o calor sensível, e uma vez estabelecida essa estrutura, ocorre a convecção nos meses seguintes e à medida que aumenta a umidade se estabelece um padrão associado com convecção e precipitação, alimentando o sistema pela liberação de calor latente e intensificando a OE 4. O mesmo processo pode ocorrer nas outras regiões de convergência do HS.

A estrutura vertical da OE 4 na Figura 4.35 mostra uma estrutura vertical claramente inclinada para oeste de baixo para cima, principalmente no verão. O máximo em baixos níveis no início do verão, em novembro e dezembro, é possivelmente associado ao calor sensível, o máximo na alta troposfera ocorre mais em janeiro e em fevereiro indicando a influência da liberação de calor latente. A inclinação para oeste com a altura é associada com o transporte de calor para o sul (HOLTON, 2004). Isso mostra a propagação de OEs estacionárias de Rossby de baixos para altos níveis (HOSKINS; PEARCE, 1983). Essa característica da OE 4 contrasta com as características das outras OEs que são praticamente barotrópicas.

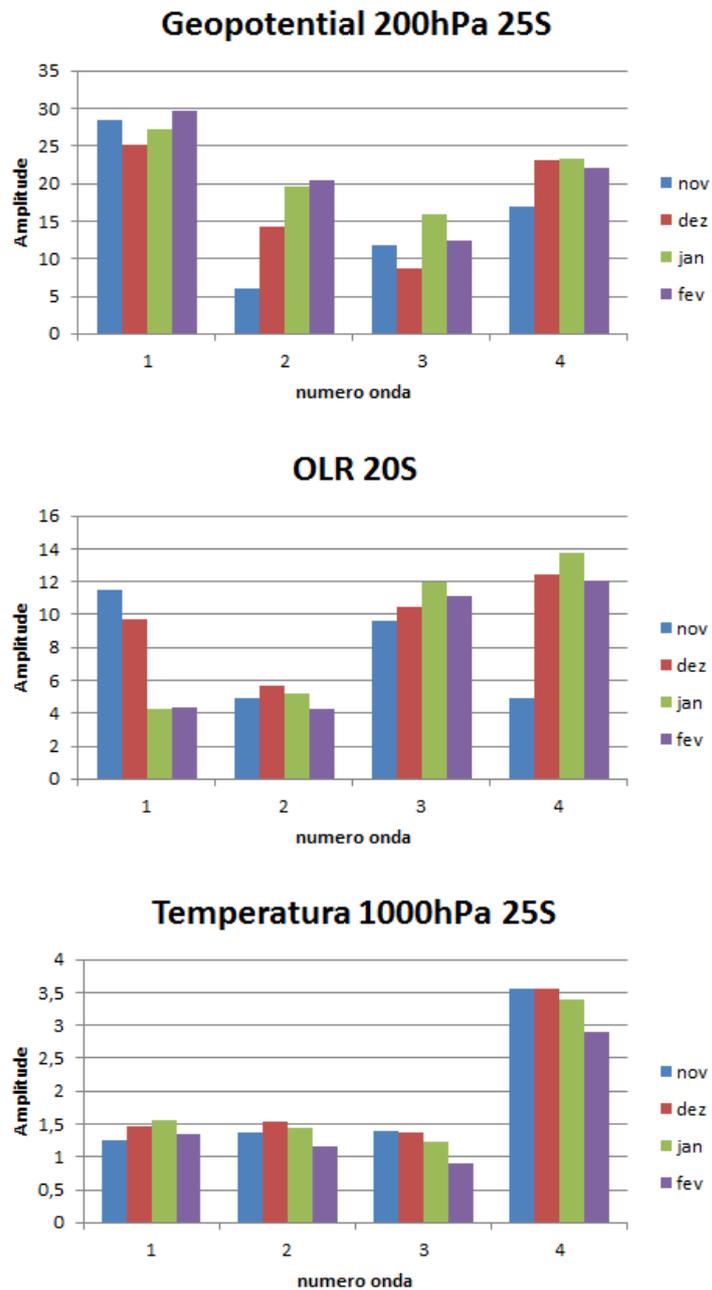


Figura 4.45 - Gráficos das amplitudes das OEs 1 a 4 do geopotencial em 200 hPa (mgp), OLR (W/m<sup>2</sup>) e temperatura em 1000 hPa (°C).

## 4.7 Sumário

Neste capítulo foram apresentadas características climatológicas do comportamento das principais OEs sobre a AS. Os resultados apresentados mostram que as OEs, embora não tão intensas quanto as do Hemisfério Norte (WANG; TING, 1999), têm grande importância na manutenção das circulações atmosféricas na AS. Como resultados complementares aos estudos anteriores (van Loon; JENNE, 1972; QUINTANAR; MECHOSO, 1995a; FERNANDEZ, 2004), foram mostradas as atuações das OEs 3 e 4 sobre a AS, influenciando a circulação de verão sobre o continente, apresentando uma configuração semelhante à circulação associada à AB na presença da ZCAS, com uma extensão noroeste-sudeste. Em 45°S a OE 3 domina o campo estacionário e em 60°S o campo é dominado quase que exclusivamente pela OE1. A OE 2 tem grande variabilidade latitudinal, durante o ano, reduzindo sua influência em uma escala anual. A OE 1 é a única que estende o máximo das altas latitudes até a estratosfera, nos meses de inverno e primavera e seus dois centros se localizam sobre o Pacífico e Oceano Austral, próximo à Antártica. Essas características são associadas à assimetria da Antártica, como mencionado por Hobbs e Raphael (2010) e à interação troposfera-estratosfera sobre o continente Antártico.

## 5 VARIABILIDADE

As OEs são modificadas pelo aquecimento diabático, pela atuação de sistemas transientes e pela modificação do escoamento do vento que atravessa cadeias de montanhas, sendo sua variabilidade importante por afetar a circulação atmosférica de determinada região. Sistemas persistentes de tempo, como por exemplo os sistemas atuantes no verão da AS, como a AB e a Zona de Convergência do Atlântico Sul, tem relação como as OEs, como mostrado em [Figuroa \(1997\)](#), [Chen et al. \(1999\)](#). Os bloqueios atmosféricos no HS também foram relacionados com a ação da OE 3 em [Trenberth e Mo \(1985\)](#), [Cavalcanti \(2000\)](#).

Neste capítulo foram realizadas várias análises da variabilidade mensal, intrasazonal e interanual das amplitudes das OEs 1 a 4, no período de 1979 a 2006. As análises consistiram na identificação da variabilidade interanual em relação às latitudes, da variabilidade dos meses dentro de cada estação, em cada ano, para as latitudes de 30°S, 45°S e 60°S. Essas latitudes foram escolhidas com o objetivo de ver o comportamento das OEs em latitudes subtropicais em latitudes médias e subpolar conforme também analisado na climatologia (Capítulo 4), além de verificar qual fase e com que intensidade as OEs atuam próximo à AS. Os casos com maiores amplitudes foram analisados em compostos e em alguns estudos de casos no próximo capítulo. Para a análise da variabilidade interanual das OEs 1 a 4 próximo à AS, foram analisadas a amplitude e a fase das OEs 1 a 4 no ponto de grade 30°S, 45°S e 60°S, na longitude de 60°W. Essas latitudes foram escolhidas com o objetivo de verificar qual fase e com que intensidade as OEs atuam próximo a AS.

### 5.1 Variabilidade Interanual e Latitudinal da Amplitude de cada OE para cada mês

Uma grande variabilidade interanual da OE 1 é vista na Figura 5.1, podendo-se observar em geral duas latitudes de máxima amplitude na maioria dos meses, geralmente entre 55°S e 75°S, normalmente com máxima amplitude, e um segundo máximo geralmente localizado entre 30°S e 40°S. A região com um mínimo de amplitude ocorre mais frequentemente entre 40°S e 50°S, região em que de acordo com a climatologia (Capítulo 4, Figura 4.11) é a região em que mais predomina a mudança de fase dessa OE. As maiores amplitudes ocorrem em torno dos 60°S, embora possa ser observada uma grande variabilidade nessa região atingindo, em alguns anos, amplitudes abaixo dos 20 mgp em alguns meses de fevereiro, abril, junho, outubro e novembro, e valores próximos ou acima de 240 mgp nos meses de julho e agosto. Considerando os valores máximos da amplitude dessa OE, é possível notar que as

menores amplitudes ocorrem geralmente nos meses de verão e as maiores amplitudes ocorrem geralmente nos meses de inverno, o que indica a influência da variação da velocidade do vento zonal, já que é mais intenso no inverno (PEZZI et al., 1996).

Analisando-se a amplitude da OE 2, na Figura 5.2 nota-se que sua variabilidade é muito grande e embora também pareça ter dois máximos de amplitude, sua localização é muito variável, tanto relativamente à época do ano como de ano para ano. Entretanto, sua maior amplitude, entre 50°S e 70°S, atinge valores bem menores do que a OE 1, raramente atingindo valores próximos de 140 mgp. Um segundo máximo, porém com amplitudes bem menores, também é observado nas latitudes subtropicais nos meses de inverno.

A OE 3 mostra uma variabilidade latitudinal bem menor, com uma região preferencial para valores máximos entre 40°S e 60°S (Figura 5.3). Há também uma grande variabilidade na amplitude, podendo ser observado um ano em setembro de 1997 em que a amplitude atinge o maior valor próximo a 150 mgp. Nesse ano houve um forte evento El Niño, o qual deve ter influenciado na amplificação dessa onda (BOLETIM CLIMANÁLISE, 1997).

As amplitudes da OE 4 são mostradas na Figura 5.4, onde pode-se observar que as maiores amplitudes se encontram entre 40° e 60°S, latitudes mais baixas do que as OEs 1, 2 e 3, também com uma grande variabilidade interanual. Observa-se um segundo máximo que ocorre próximo a 20°S entre os meses de novembro a fevereiro, o que pode indicar a sua importância nas circulações de verão do HS e da AS. A influência dessa OE na convecção da ZCAS foi identificada em Cavalcanti e Cunningham (2006). As regiões das zonas de convergência do HS (ZCAS, ZCPS-Zona de Convergência do Pacífico Sul e ZCI (Zona de Convergência do Índico) também podem ser identificadas nas análises de nebulosidade com informações de satélite que mostram essas 4 regiões que representariam as regiões com os cavados da OE 4 (YASUNARI, 1977). Nas latitudes médias essa OE também apresenta valores máximos nos meses de verão, o que pode ser considerado um indício de sua interação com as circulações de verão do HS.

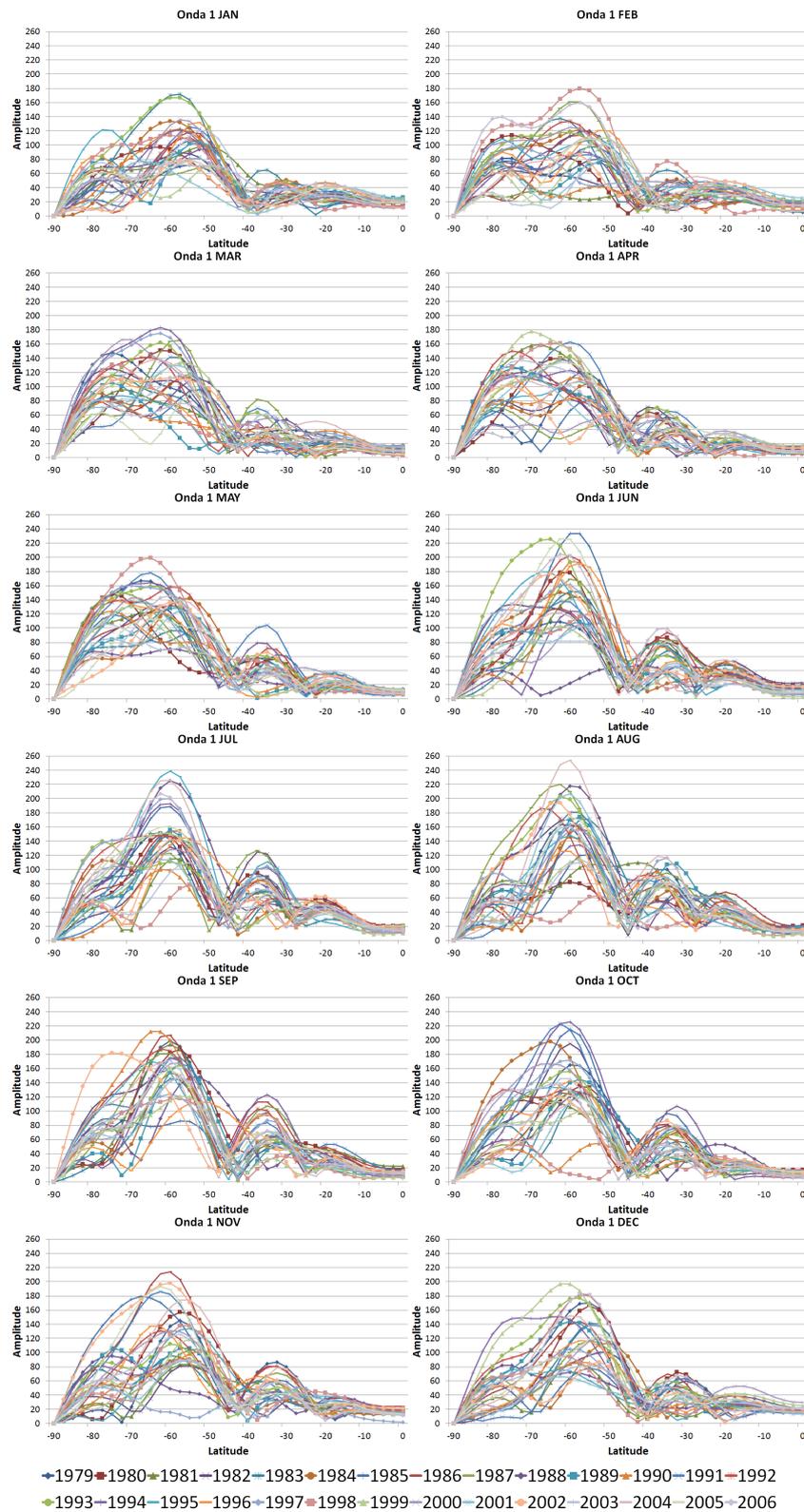


Figura 5.1 - Variabilidade interanual da amplitude da OE 1 no HS em 200 hPa (mgp).

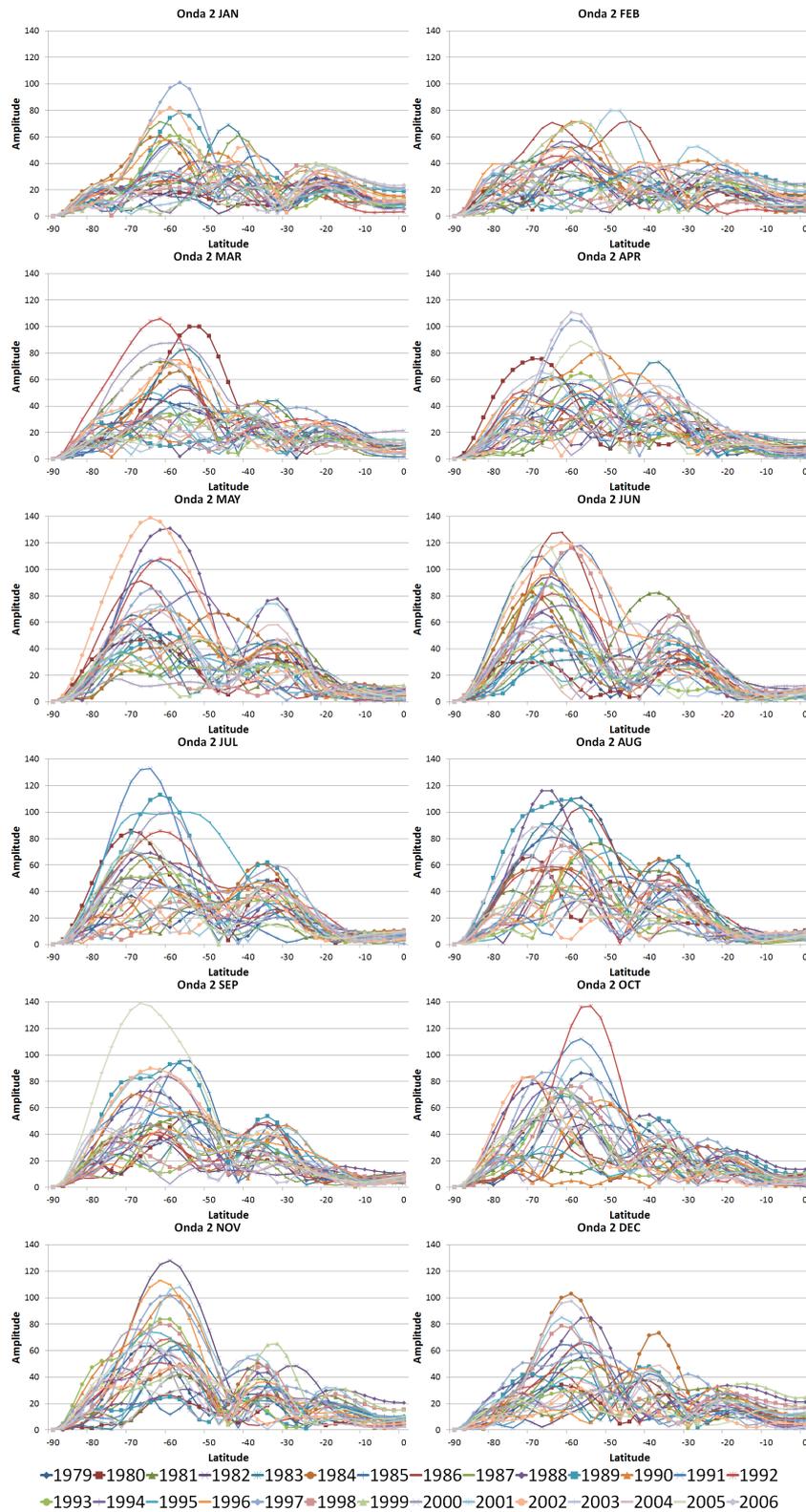


Figura 5.2 - Variabilidade interanual da amplitude da OE 2 no HS em 200 hPa (mgp).

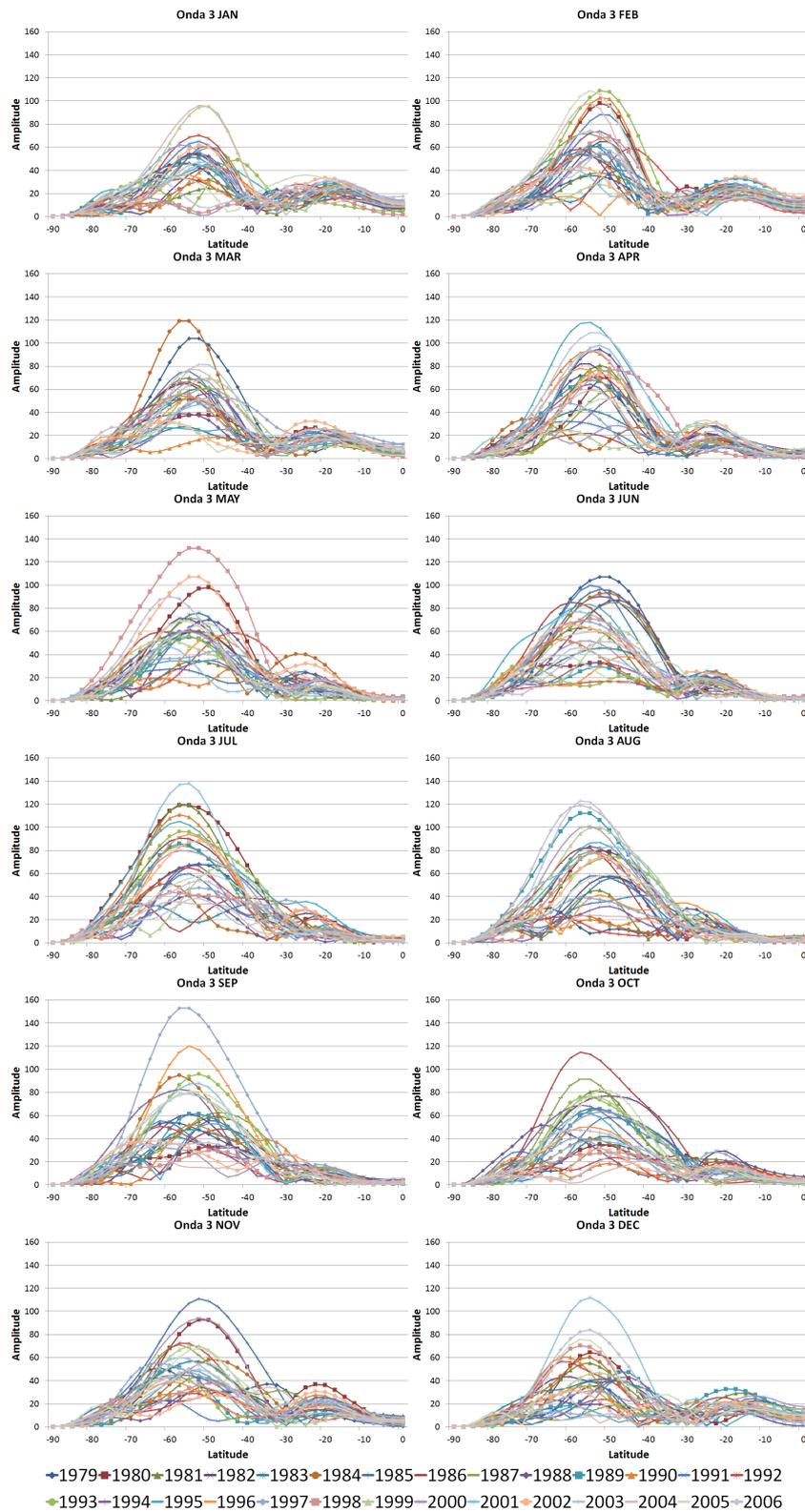


Figura 5.3 - Variabilidade interanual da amplitude da OE 3 no HS em 200 hPa (mgp).

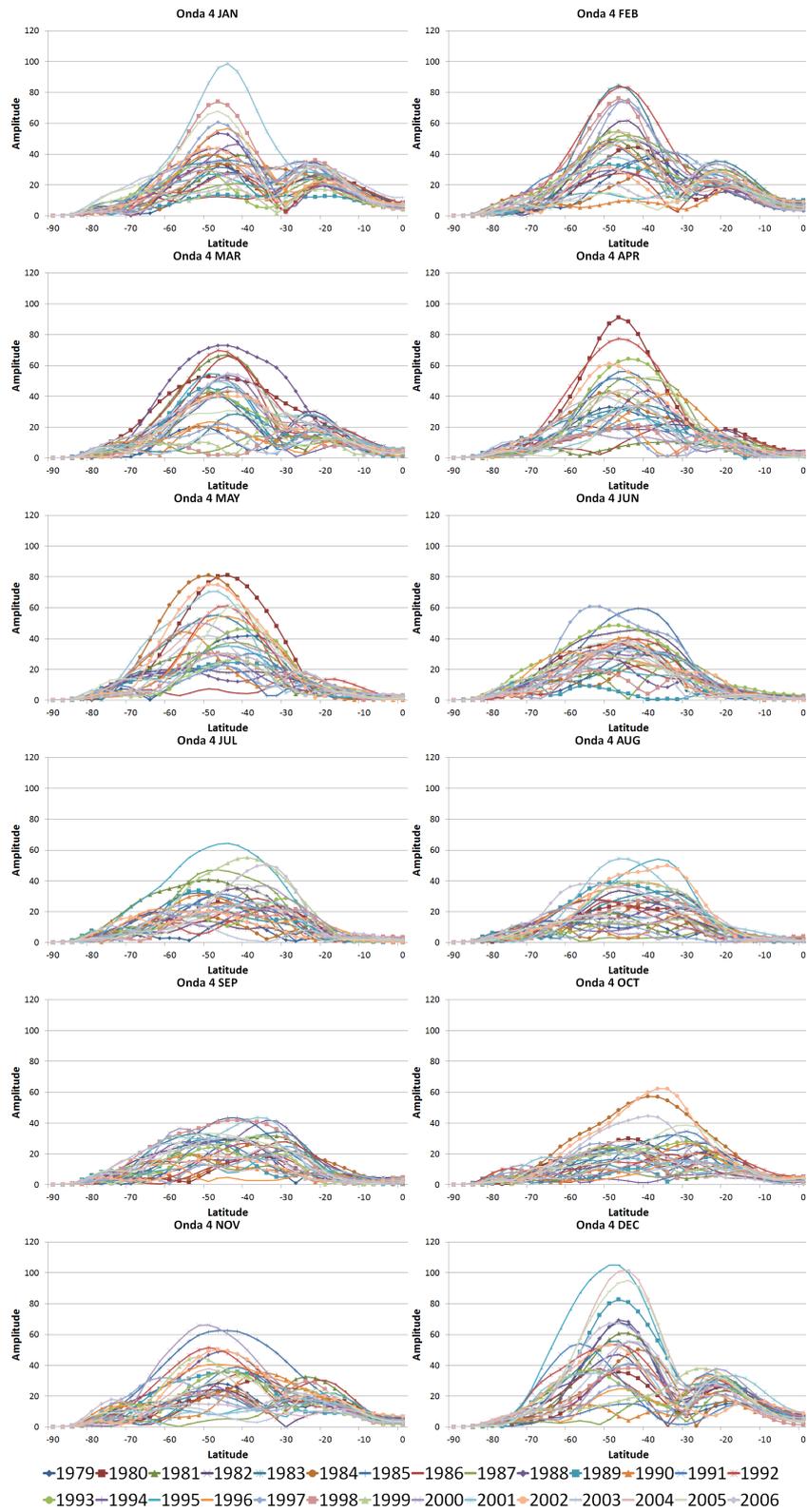


Figura 5.4 - Variabilidade interanual da amplitude da OE 4 no HS em 200 hPa (mgp).

## 5.2 Variabilidade Interanual e Intrasazonal da Amplitude de cada OEs em 30°S

A variabilidade intrasazonal (meses dentro de cada estação) das OEs 1 a 4 é mostrada na Figura 5.5 para os meses de DJF em 30°S. As colunas indicam as amplitudes e as barras o intervalo do desvio padrão. Para a OE 1, para essa latitude nota-se que há variabilidade entre os meses de uma mesma estação, como por exemplo no ano de 1991 em que a amplitude em dezembro esteve bem acima da média ultrapassando a média e o desvio padrão, e no mês de fevereiro esteve bem abaixo da média. Também é possível notar a grande variabilidade interanual para cada mês.

Em 30°S a amplitude da OE 1 (Figura 5.5) variou de menos de 10 mgp em dezembro de 1981 e chegou próximo a 70 mgp em dezembro de 1980. Nota-se que o desvio padrão de dezembro é maior que janeiro e fevereiro e o de fevereiro maior do que janeiro. Isso implica em maior variabilidade interanual em dezembro do que em janeiro. Esse comportamento pode ser associado à sazonalidade, com as condições de verão em janeiro já estabelecidas, enquanto em dezembro estariam iniciando as condições atmosféricas de verão, tendo, portanto maior variabilidade. Nesta latitude, destacam-se os meses de dezembro dos anos de 1979, 1980 e 1990, com as maiores amplitudes observadas. As menores amplitudes também ocorreram em dezembro, dos anos de 1981 e 1995.

Como visto na climatologia (Capítulo 4), a OE 2 apresenta menores amplitudes do que a OE 1. Os maiores valores foram observados em fevereiro de 1989 e de 2000, atingindo valores acima de 50mgp, neste último ano. Os menores valores correspondem aos anos de 1990 (Jan), 1993 (Dez) e 2001 (Jan), com valores abaixo de 5 mgp. Nesse caso, a variabilidade maior é notada em fevereiro.

A OE 3 tem em geral uma amplitude pequena na latitude de 30°S, apresentando o maior valor um pouco acima dos 30mgp em janeiro de 2004. Os menores valores foram observados em fevereiro de 1993, janeiro de 1994 e janeiro de 2002. A maior variabilidade (maior desvio padrão) ocorre em janeiro. Na latitude de 30S, a OE 4 tem amplitudes maiores do que as OEs 2 e 3 durante o verão, apresentando também mais casos com amplitudes acima de 30mgp (9 casos da OE 4, 7 casos da OE 2 e 1 caso da OE 3). Os maiores valores foram observados em fevereiro de 1984 e fevereiro de 1996 e os menores valores em dezembro e janeiro de 1991.

Para os meses de março, abril e maio em 30°S, também observa-se uma grande variabilidade nas amplitudes das OEs (Figura 5.6), talvez por serem meses de transição,

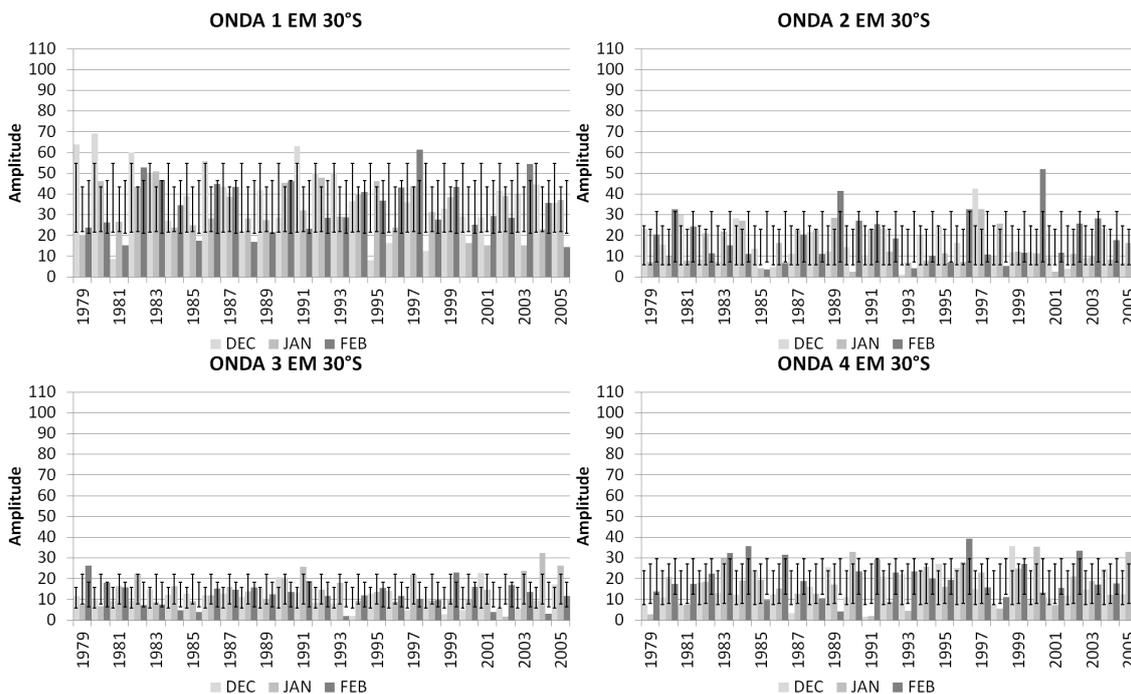


Figura 5.5 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em 30°S, as barras indicam o desvio padrão.

as OEs apresentem uma grande variabilidade. Para a OE 1, o desvio padrão é semelhante entre os meses, porém com grande variabilidade interanual, apresentando valores próximos ou abaixo de 5 mgp em alguns meses de alguns anos e atingindo acima de 60 mgp em outros. Os maiores valores foram observados em maio de 1985, 1991 e 1992, e os menores valores em abril de 1983, 1989 e 1996.

A OE 2 apresenta variabilidade maior em maio e embora apresente dois anos com amplitudes maiores que 60 gpm, na maioria dos anos sua amplitude é menor que a OE 1. Os maiores valores foram identificados em maio de 1988 e 2001 e os menores, em março de 1991, maio de 1997 e abril de 2005 (Figura 5.6).

A OE 3 apresentou somente um mês em que a amplitude esteve acima de 30 mgp, em maio de 1984. Os menores valores ocorreram em vários anos, nessa estação do ano. A OE 4 teve alguns meses com amplitude acima de 30mgp, porém em menor número do que em DJF. O maior valor ocorreu em março de 1987 e os menores em abril de 1997 e 2006 (Figura 5.6).

Nos meses de inverno as amplitudes são bem maiores que nas estações de verão e outono e novamente podemos notar a grande variabilidade tanto interanual como

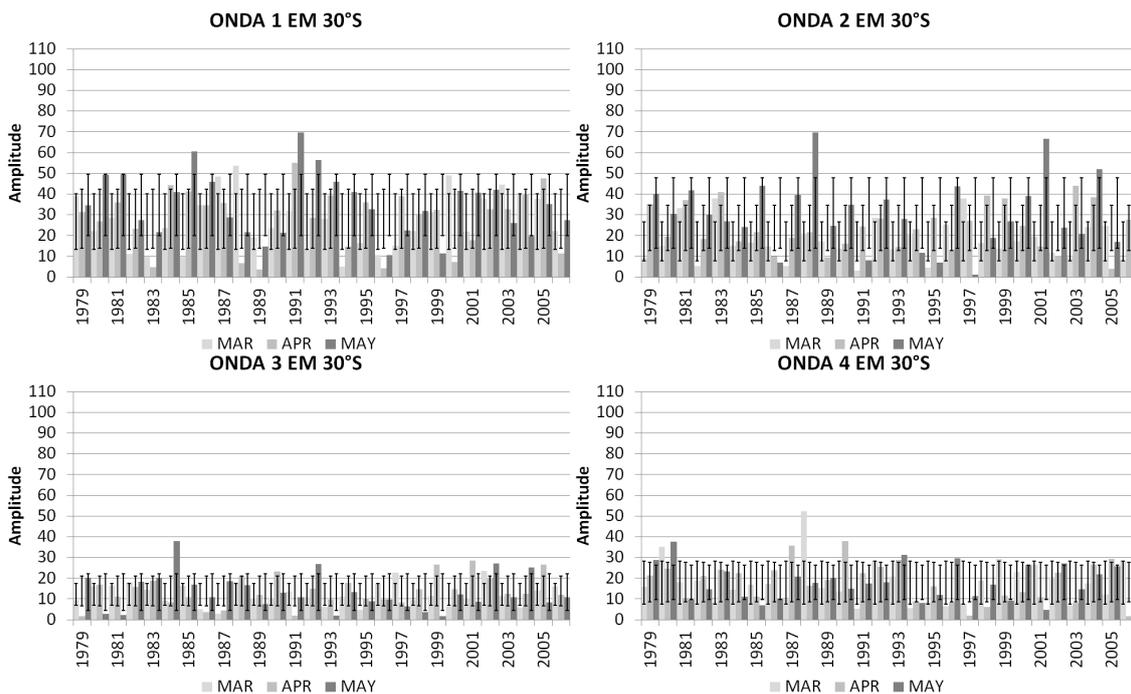


Figura 5.6 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de março, abril e maio em 30°S, as barras indicam o desvio padrão.

intrasazonal (Figura 5.7). A OE 1 apresenta desvio padrão semelhante entre os meses, mas grande variabilidade de um mês para o próximo, por exemplo o ano de 1989, apresenta amplitudes bem abaixo da média em junho, amplitudes próximas a média em julho e amplitudes muito acima da média em agosto, atingindo os maiores valores nessa latitude, com amplitude acima de 90 mgp. Os menores valores foram observados em junho de 1989 e 2004.

A OE 2 também é mais intensa nos meses de inverno, comparada com as outras estações. O maior valor é observado em junho de 1998 e o menor em julho de 1985. A OE 3 apresenta mais casos ultrapassando 30 gpm, em comparação com as estações anteriores, com máximos em julho de 1995, agosto de 1996 e julho de 1997. Mínimos ocorrem em agosto de 1980, junho de 1985 e junho de 1994. A OE 4 ainda apresenta alguns meses com valores ultrapassando 30 gpm, mas em menor número do que em DJF. Os maiores valores são observados em julho e agosto de 1995, julho de 1999, agosto de 2002 e julho de 2006 e os menores em julho de 1979, junho de 1989 e junho de 2003 (Figura 5.7).

Na primavera (setembro, outubro e novembro) observa-se o mesmo comportamento das outras estações, para a latitude de 30°S, ou seja, maiores amplitudes da OE 1,

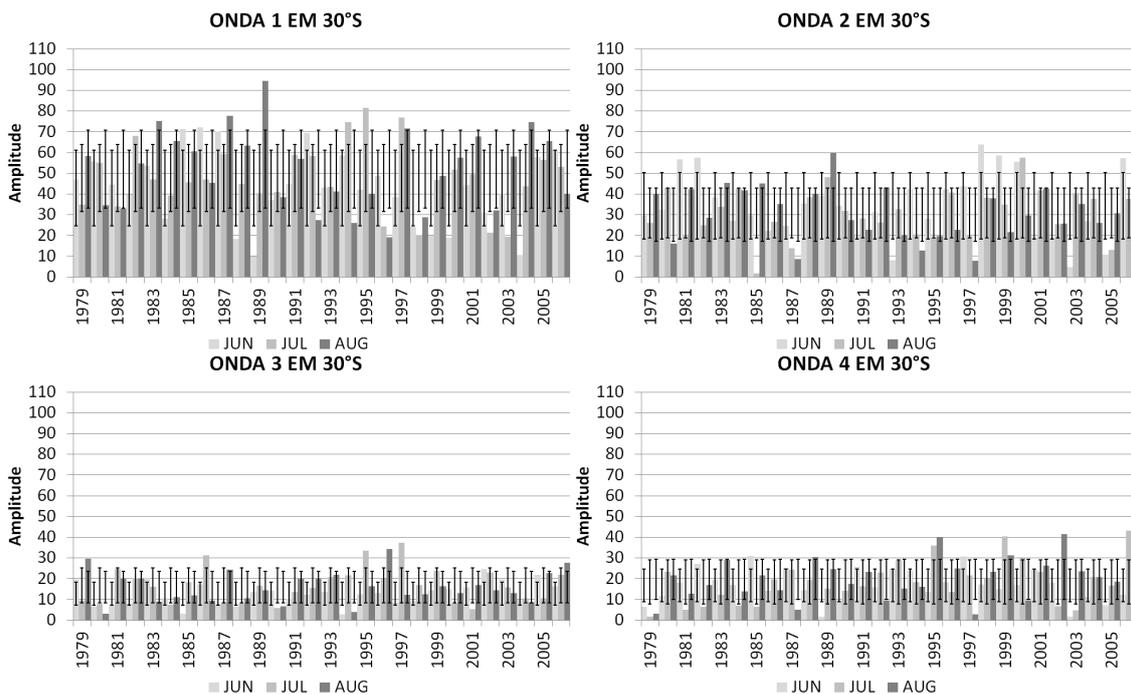


Figura 5.7 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de junho, julho e agosto em 30°S, as barras indicam o desvio padrão.

seguida da OE 2 e 4, e as menores para a OE 3 (Figura 5.8). Entretanto, nos meses de setembro outubro e novembro as amplitudes da OE 1 atingem os maiores valores observados em comparação com as outras estações do ano, atingindo valores acima de 100 mgp no mês de outubro de 1994.

As OEs 2, 3 e 4 para esses meses, nessa latitude, mantêm-se semelhantes aos meses de junho, julho e agosto (Figura 5.8).

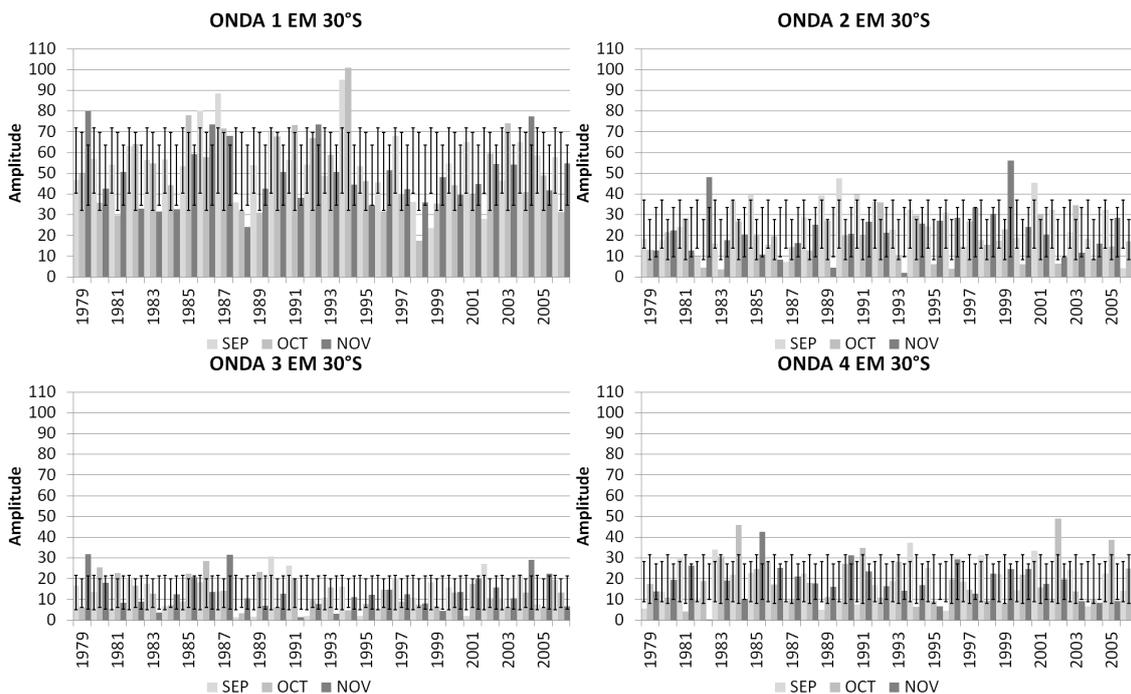


Figura 5.8 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de setembro, outubro e novembro em 30°S, as barras indicam o desvio padrão.

### 5.3 Variabilidade Interanual e Intrasazonal da Amplitude de cada OEs em 45°S

Na latitude de 45°S para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (Figura 5.9), é evidente que as OEs nessa latitude, tem maior amplitude. É possível destacar também a grande variabilidade das OEs. Para a amplitude da OE 1 pode-se destacar valores próximos a 0 em fevereiro de 1979 e valores acima de 90 mgp em dezembro de 1984. Para o verão fica também evidente a maior representatividade das OEs 3 e 4 relativamente à OE 2.

A OE 2 apresentou os máximos valores em janeiro de 1982, fevereiro de 1985 e fevereiro de 2000, onde atingiu amplitudes acima dos 60 mgp (Figura 5.9). As OE 3 e 4 tiveram episódios com valores bem maiores para essa latitude. Destacando-se para a OE 3 os de fevereiro de 1989 e 1992, dezembro de 2001 e janeiro de 1998 e 2003, que atingiram valores de amplitude superiores a 70 mgp. A OE 4 apresenta a maior variabilidade, apresentando em vários meses valores acima da média mais o desvio padrão e vários meses abaixo, onde destacam-se alguns meses em que atingiu valores acima de 100 mgp (dezembro de 1995 e dezembro de 2004).

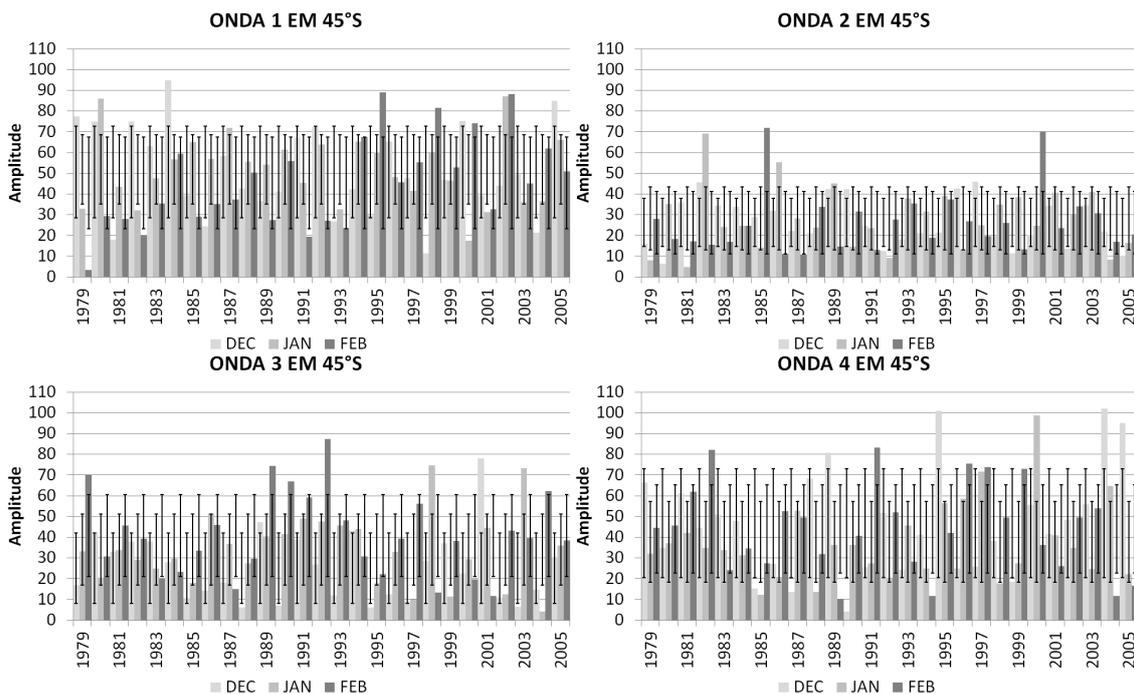


Figura 5.9 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em 45°S, as barras indicam o desvio padrão.

A Figura 5.10 mostra as amplitudes para os meses de março, abril e maio, quando a variabilidade também é grande. A OE 1 em geral apresenta amplitudes menores que para o verão nessa latitude. Destaca-se a variabilidade das OEs 3 que vai desde valores abaixo de 10 mgp em maio de 2001, em março de 2002 e em março de 2005, até valores acima dos 110 mgp em maio de 1998. As amplitudes da OE 4 variam de valores abaixo de 10 em março de 1987, 1998 e 1999, abril de 1981 e maio de 1984 até valores acima de 80 mgp em abril e maio de 1980.

Em junho, julho e agosto (Figura 5.11) a onda 1 teve a menor amplitude em agosto de 1982 e a maior em agosto de 1981, com valores acima de 100 mgp. A OE 2, em geral apresenta valores pequenos, com poucos casos acima de 60mgp. A OE 3 também tem uma grande variabilidade, porém parece ser mais frequente a ocorrência de valores bem acima da média mais o desvio padrão. A OE 4 apresenta amplitudes pequenas nessa latitude e nessa época do ano.

Em setembro, outubro e novembro (Figura 5.12), destaca-se a amplitude das OEs 1 e 3, quando as OEs 2 e 4 parecem ter pouca representatividade nesses meses para essa latitude.

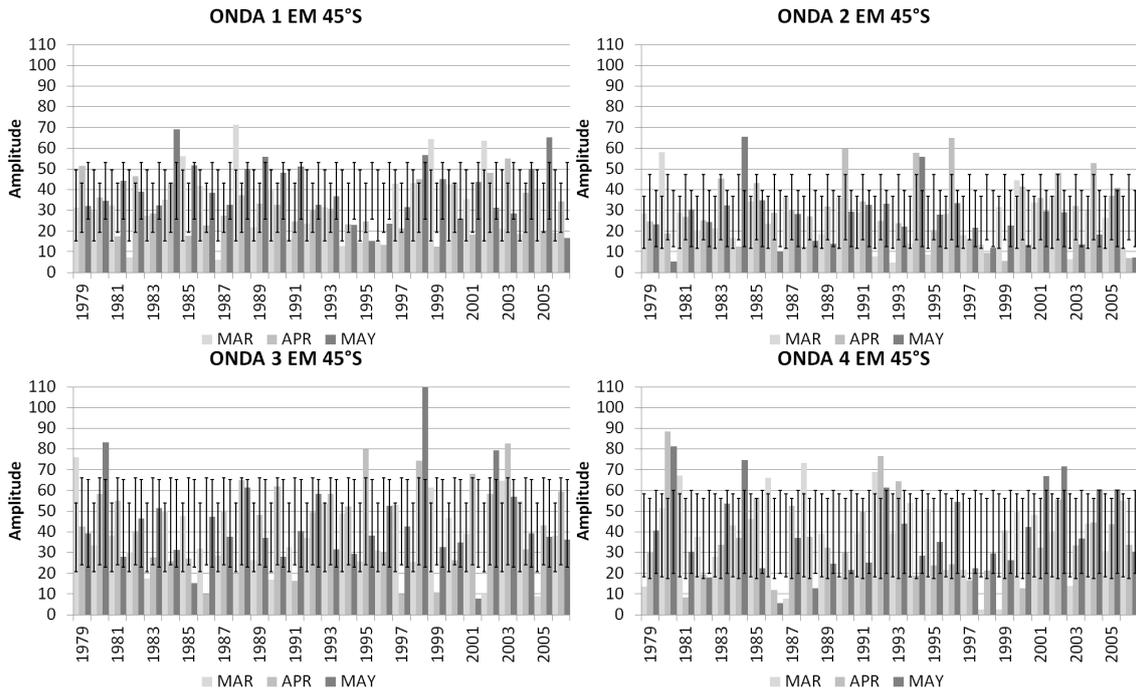


Figura 5.10 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mcp) nos meses de março, abril e maio em 45°S, as barras indicam o desvio padrão.

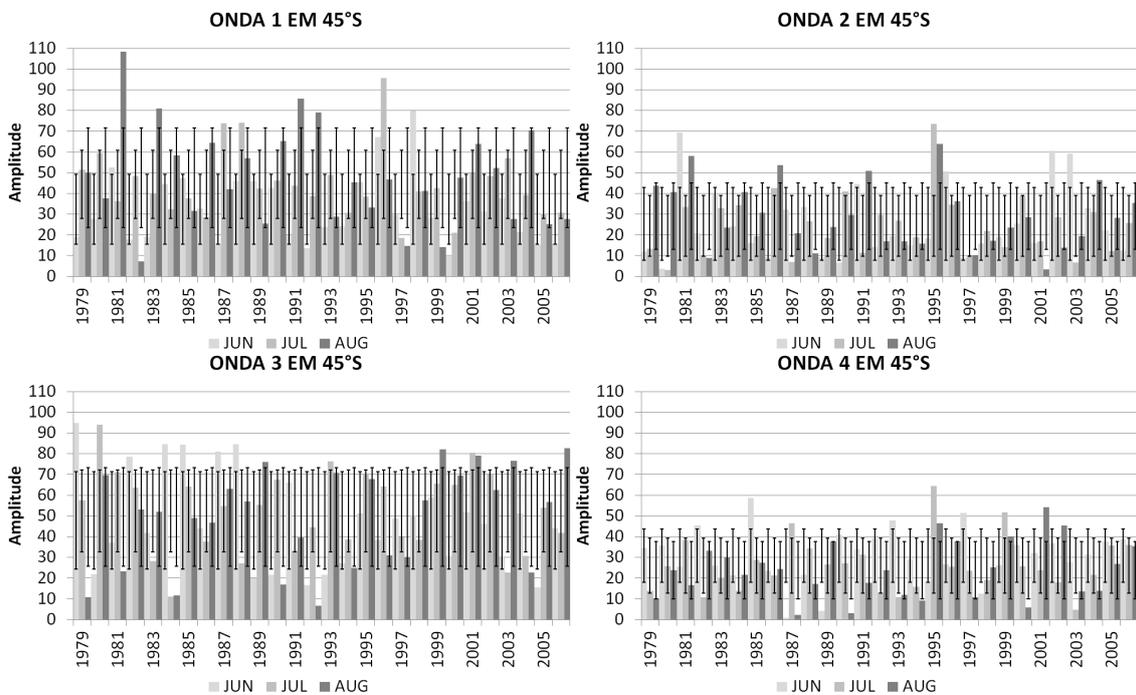


Figura 5.11 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mcp) nos meses de junho, julho e agosto em 45°S, as barras indicam o desvio padrão.

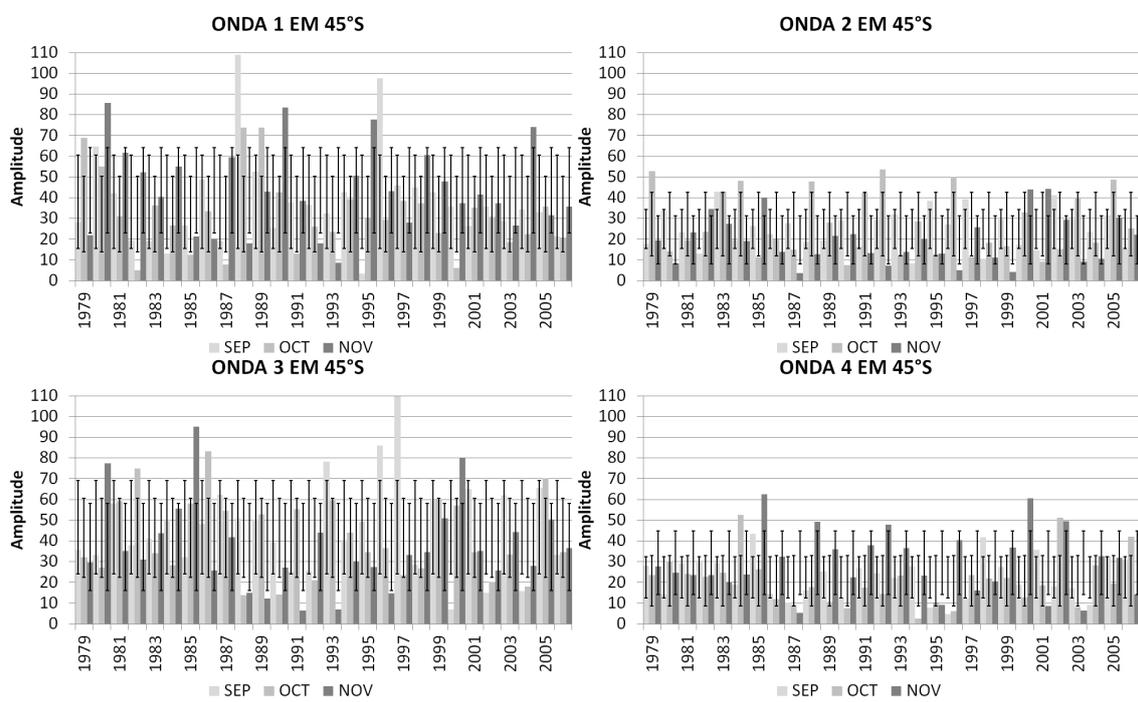


Figura 5.12 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de setembro, outubro e novembro em 45°S, as barras indicam o desvio padrão.

## 5.4 Variabilidade Interanual e Intrasazonal da Amplitude de cada OEs em 60°S

Para o verão em 60°S (Figura 5.13), a OE 1 apresenta valores acima de 160 mgp em dezembro de 1992, 1993 e 1999, em janeiro de 1982, 1991 e em fevereiro de 1986, e 1997, geralmente anos de El Niño (RAO et al., 2004), e é bem mais intensa que nas latitudes de 30°S e 45°S. As OEs 2 e 3 raramente alcançam valores acima de 80 mgp, portanto bem menores que a OE 1. A OE 4 só teve um ano com a amplitude acima de 60 mgp em janeiro de 1995, também ano de El Niño.

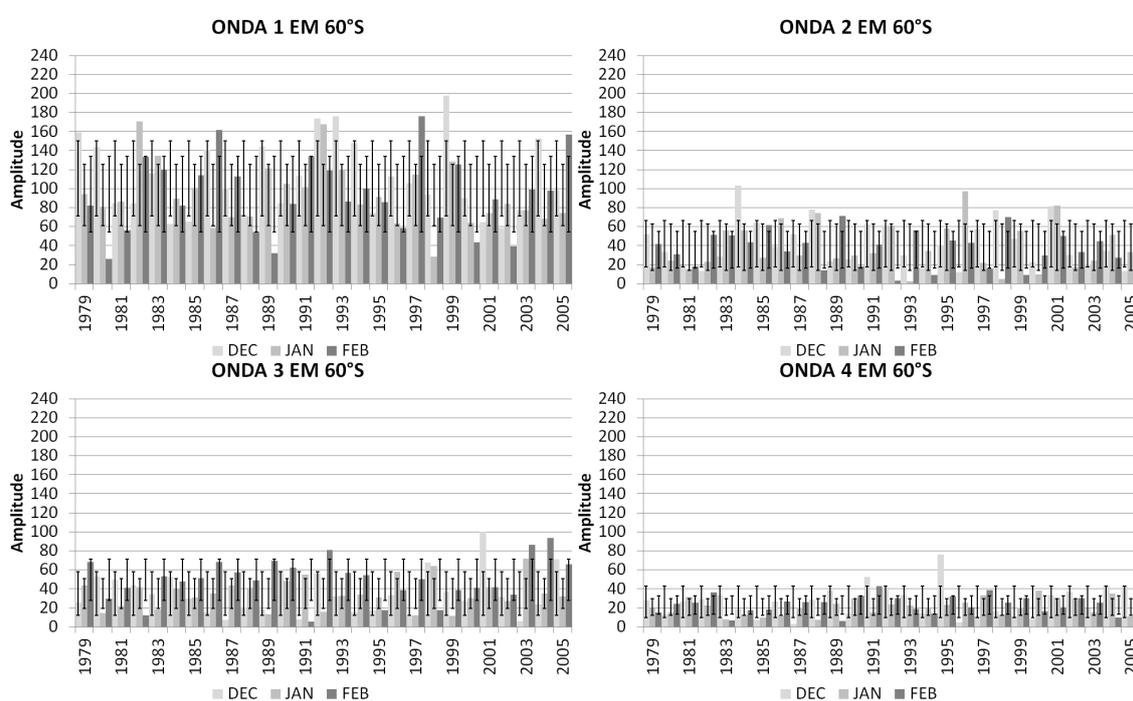


Figura 5.13 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro em 60°S, as barras indicam o desvio padrão.

Em março, abril e maio (Figura 5.14), as amplitudes da OE 1 são bem maiores, embora em vários casos as ondas 2 e 3 tenham amplitudes acima de 100 mgp, portanto com amplitudes maiores que no verão. A OE 4 não tem grandes amplitudes nessa latitude relativamente às outras ondas.

No inverno (junho, julho e agosto) (Figura 5.15) a OE 1 atinge as maiores amplitudes, chegando a valores próximos de 260 mgp em agosto de 2004, e valores abaixo de 60 mgp foram raros. As OE 2 e 3 tiveram somente alguns casos acima de 100 mgp,

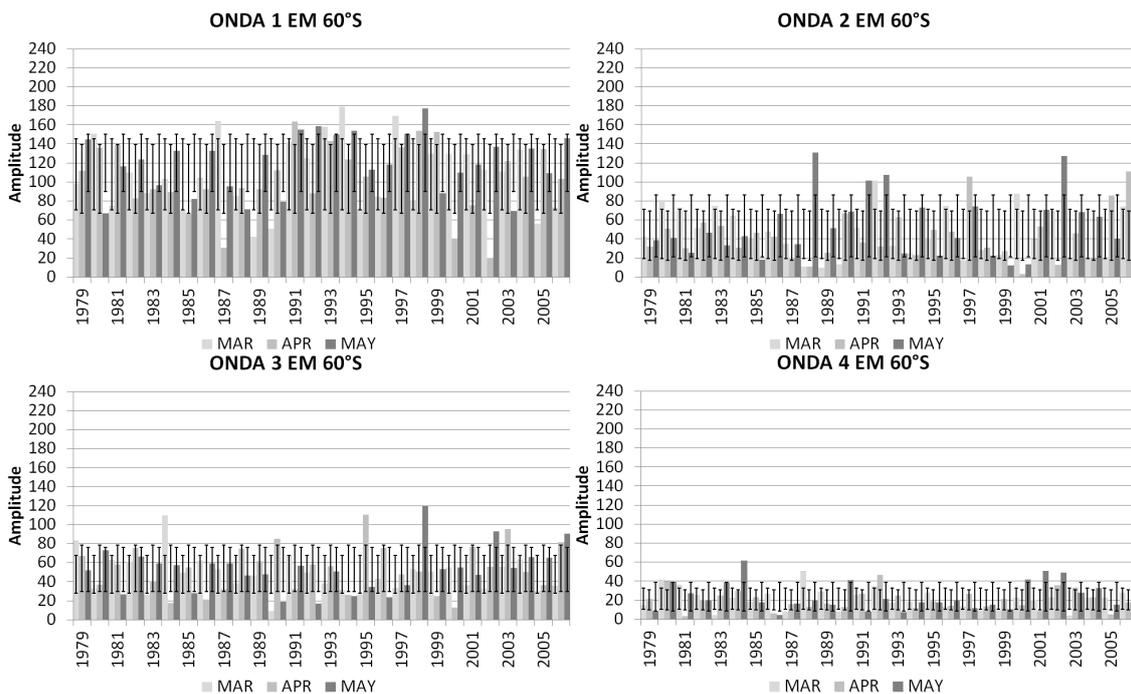


Figura 5.14 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de março, abril e maio em 60°S, as barras indicam o desvio padrão.

portanto bem menores que a OE 1. A onda 4 praticamente desaparece se comparada às outras OEs nessa latitude.

Na primavera (setembro outubro e novembro) (Figura 5.16) os valores máximos e mínimos da OE 1 diminuem, e os valores máximos das OEs 2 e 3 aumentam.

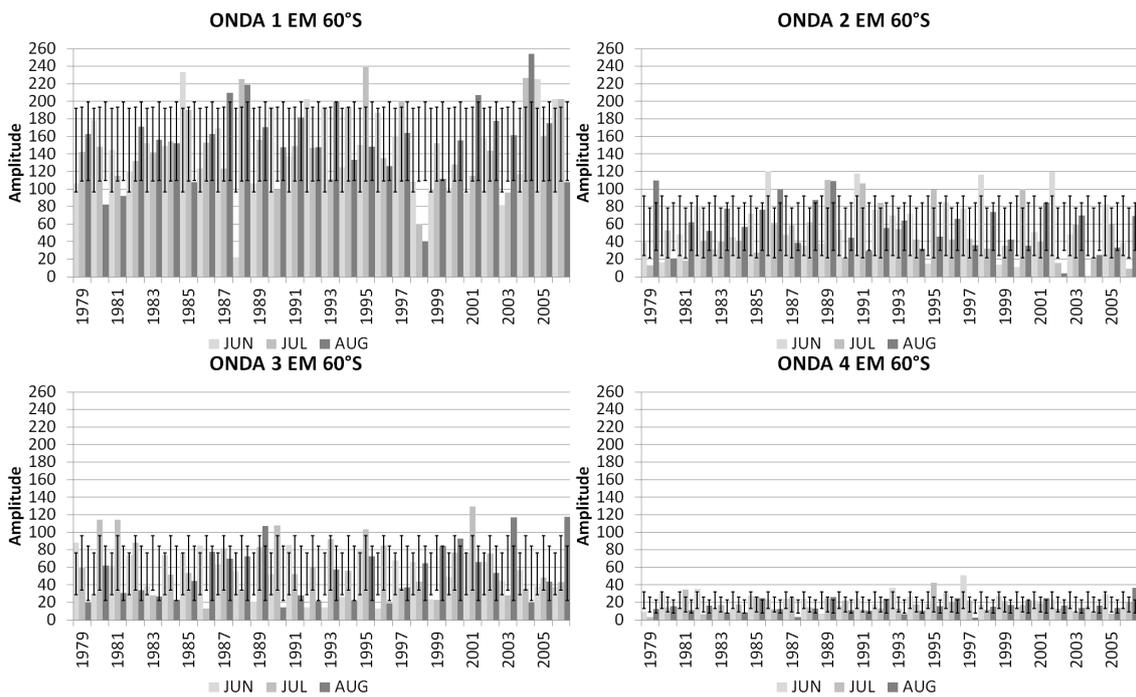


Figura 5.15 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de junho, julho e agosto em 60°S, as barras indicam o desvio padrão.

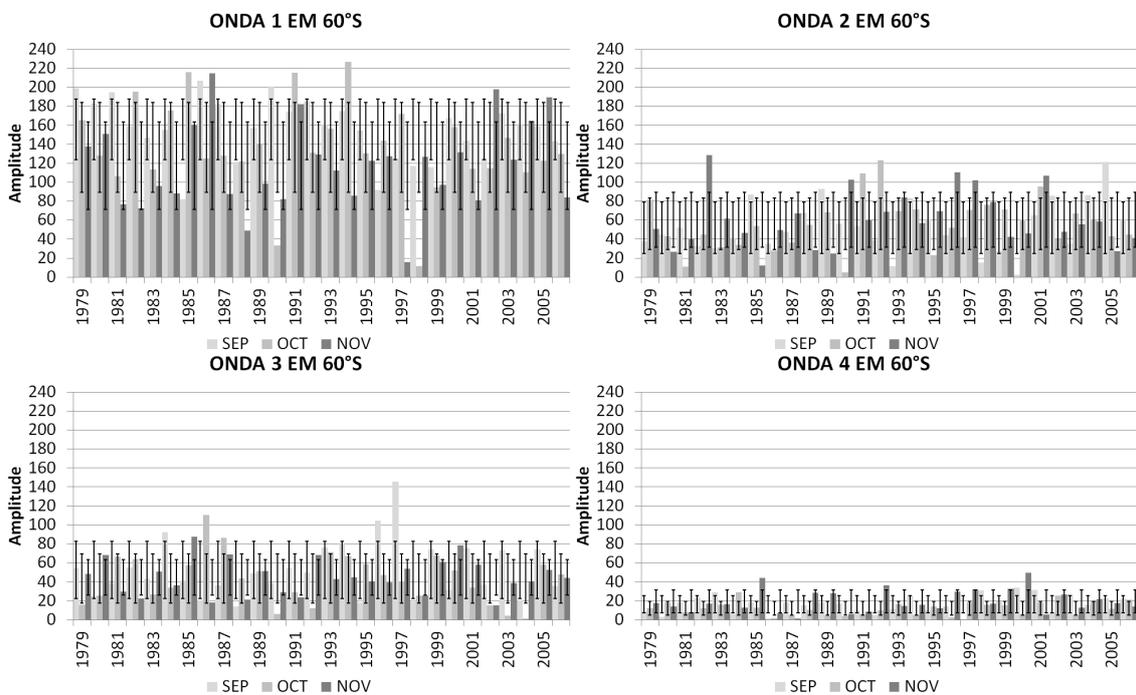


Figura 5.16 - Variabilidade interanual das amplitudes das OEs 1 a 4 em 200hPa (mgp) nos meses de setembro, outubro e novembro em 60°S, as barras indicam o desvio padrão.

## 5.5 Variabilidade da Fase das OEs próximo à América do Sul

A variabilidade da fase das OES 1 a 4, em alguns pontos próximos à AS é vista nas Figuras 5.17 a 5.22, que mostram a amplitude e fase das OES na longitude de  $60^\circ\text{W}$  no nível de 200 hPa. O gráfico da Figura 5.17 mostra a amplitude e fase das ondas 1 a 4 somadas em  $30^\circ\text{S}$ , no qual nota-se uma grande variabilidade, podendo ser observados os maiores valores no verão sobretudo nos meses de outubro a janeiro, isso provavelmente se deve ao estabelecimento da AB. Em todos os meses foram observados valores positivos e negativos, evidenciando que em um mesmo mês, um ano pode ser dominado por um sistema de alta e em outro ano pode ser dominado por uma baixa, dando o indício de relação com sistemas de Bloqueios que foram relacionados com OES por (TRENBERTH; MO, 1985; MARQUES; RAO, 1999).

Em  $30^\circ\text{S}$  (Figura 5.18), pode-se observar que todas as ondas tem uma grande variabilidade interanual, a onda 1 varia de um mínimo de - 50 mgp em fevereiro, até um máximo de 60 mgp em maio. Na média, pelo número de casos, percebe-se que para essa latitude e longitude, predominam casos positivos de março a julho. Em agosto foram 14 casos positivos e 14 negativos, evidenciando um período do ano em que ocorre mudança frequente na fase. Para a onda 1 só foram mais frequentes casos negativos em fevereiro.

A OE 2 (Figura 5.18) tem uma grande variabilidade atingindo o valor máximo em fevereiro, um pouco acima de 40 mgp, e um mínimo em maio com valor aproximado de -70 mgp. A variabilidade também é grande em um mesmo mês, atingindo uma variação de aproximadamente 80 mgp, nos meses de maio e junho. A OE 2, apresenta mais casos positivos somente nos meses de janeiro e fevereiro e nos outros meses apresenta mais valores negativos, anulando de certa forma o efeito da onda 1 (que tem valores contrários na média). Embora a onda 1 tenha amplitude bem maior nessa latitude, para a longitude de  $60^\circ\text{W}$  ambas tem amplitudes aproximadas, e em média apresentam fases diferentes nessa longitude (linha preta na Figura 5.18) .

As OE 3 e 4 apresentam uma variabilidade bem menor (Figura 5.18). A OE 3 variando de máximos em janeiro, em julho e em agosto, em torno de 30 mgp e um mínimo também em agosto, próximo de - 30 mgp, caracterizando uma variabilidade interanual em torno de 60 mgp no mesmo mês. Para a OE 3, nota-se que em alguns meses ocorre quase o mesmo número de valores positivos e negativos (janeiro, fevereiro setembro e julho, que teve exatamente o mesmo número de casos positivos e negativos). Os meses em que predominaram fortemente casos positivos foram março, abril, agosto e novembro. A OE 4 nessa latitude variou de 50 mgp de uma

fase positiva, em maio até um valor de - 30 mgp em julho. Pelos números de casos, pode-se verificar que ela é predominantemente positiva nos meses de outubro a março, o que concorda com as análises do Capítulo 4, onde foi mostrado que a OE 4 tem importantes características das circulações de verão da AS.

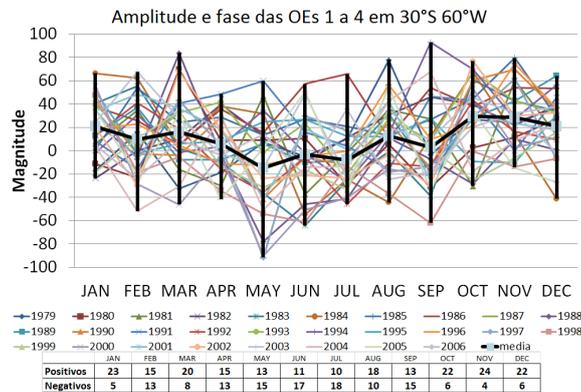


Figura 5.17 - Variabilidade da amplitude e fase, somada das ondas 1 a 4 em 30°S, 60°W e 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos.

Na latitude de 45°S o somatório das ondas 1 a 4 (Figura 5.19) mostra amplitude maior que em 30°S. Em geral predomina uma alta sobre essa latitude, principalmente nos meses de julho a setembro. Os gráficos para as ondas 1 a 4 mostrados na Figura 5.20 dão uma idéia da importância relativa das ondas nessa latitude, onde todas as ondas apresentam uma grande variabilidade.

Como em geral a onda 1 é a mais dominante, o comportamento médio dessa onda é parecido com a soma das ondas (Figura 5.19). Nas ondas 2, 3 e 4 da Figura 5.20 alguns casos isolados parecem produzir situação com amplitudes extremas com fase positiva ou negativa, como o máximo da onda 2 em janeiro, os máximos da onda 3 em fevereiro e em setembro, e os máximos da onda 4 em março. A onda 4 apresenta uma menor variabilidade nos meses de julho a outubro. Na média nessa latitude a onda 3 parece ser mais positiva, sobretudo nos meses de verão. A onda 4 parece ser neutra com a média próxima à linha de zero.

Em 60°S, a soma das ondas 1 a 4 (Figura 5.21) mostra uma grande variabilidade sobretudo relacionada a anos isolados, por exemplo aparecendo com mínimos próximos a -180 mgp em junho e -150 mgp em julho, com um máximo também isolado em julho chegando próximo a 240 mgp. Analisando-se as ondas individualmente (Figura 5.22), nota-se que, embora a onda 1 seja muito variável, ela atinge os menores

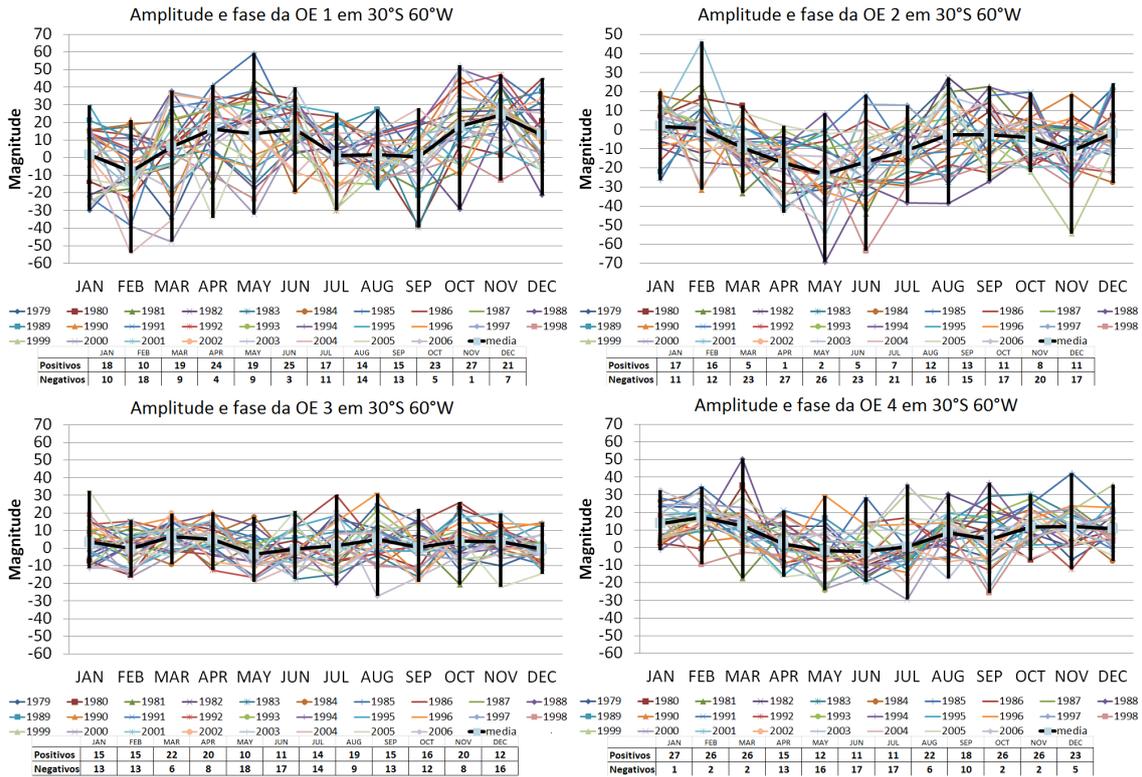


Figura 5.18 - Variabilidade da amplitude e fase das ondas 1 a 4 em 30°S, 60°W, em 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos.

valores nos meses de verão e atinge os maiores valores nos meses de inverno e primavera. A onda 2 apresenta uma média quase que constante próxima à linha de zero, embora em casos isolados apresente valores de até 110 mgp de amplitude máxima. A onda 3 nessa latitude, apresenta na média valores positivos, com um menor valor médio no mês de junho. A onda 4 apresenta amplitudes muito menores que as ondas 1, 2 e 3 nessa latitude, indicando que as fontes dessa onda podem ser associadas a fontes tropicais e subtropicais.

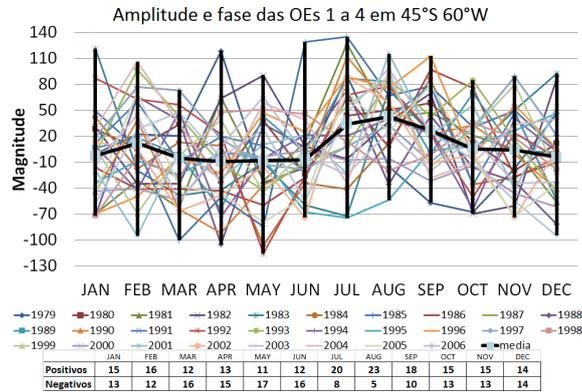


Figura 5.19 - Variabilidade da amplitude e fase somada das ondas 1 a 4 em 45°S, 60°W e 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos.

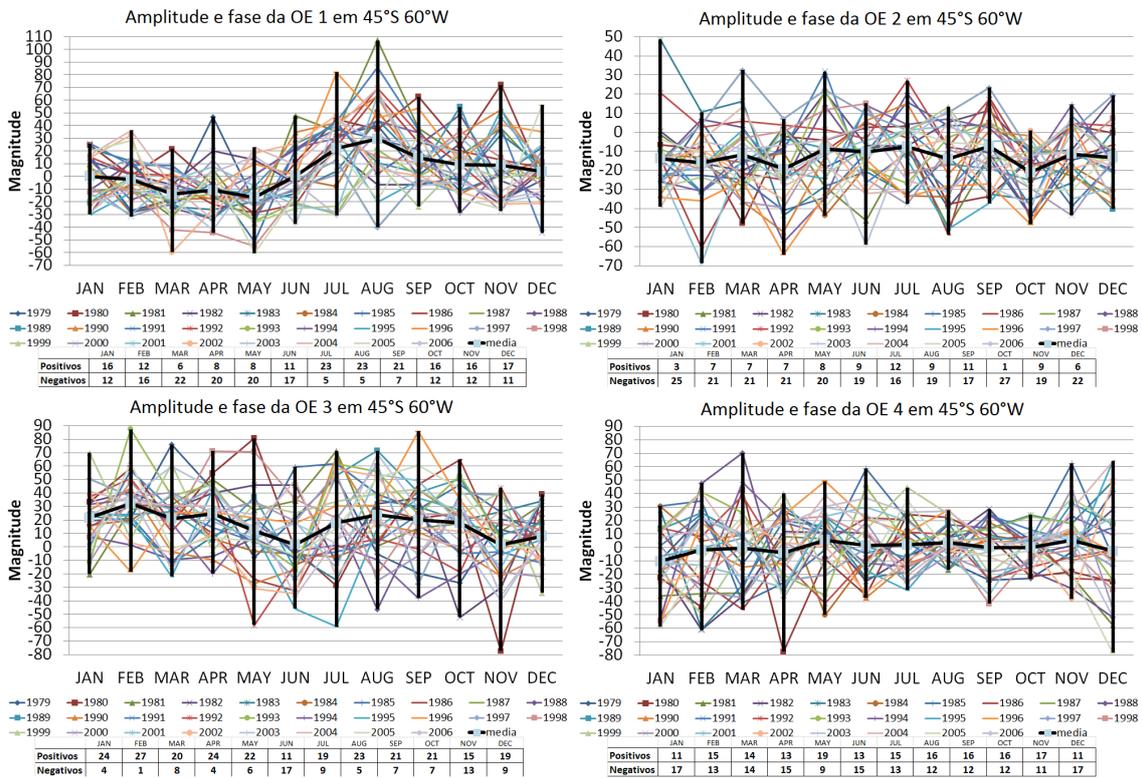


Figura 5.20 - Variabilidade da amplitude e fase das ondas 1 a 4 em 45°S, 60°W, em 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos.

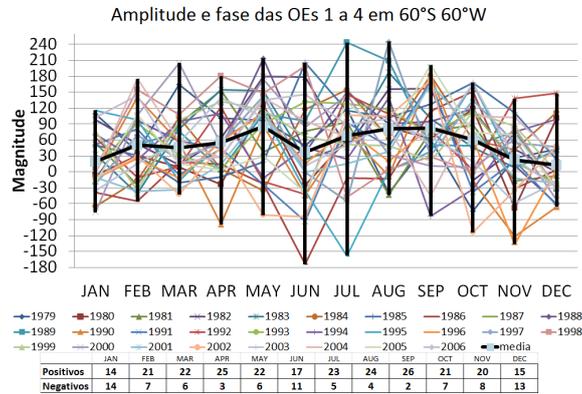


Figura 5.21 - Variabilidade da amplitude e fase somada das ondas 1 a 4 em 60°S, 60°W e 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos.

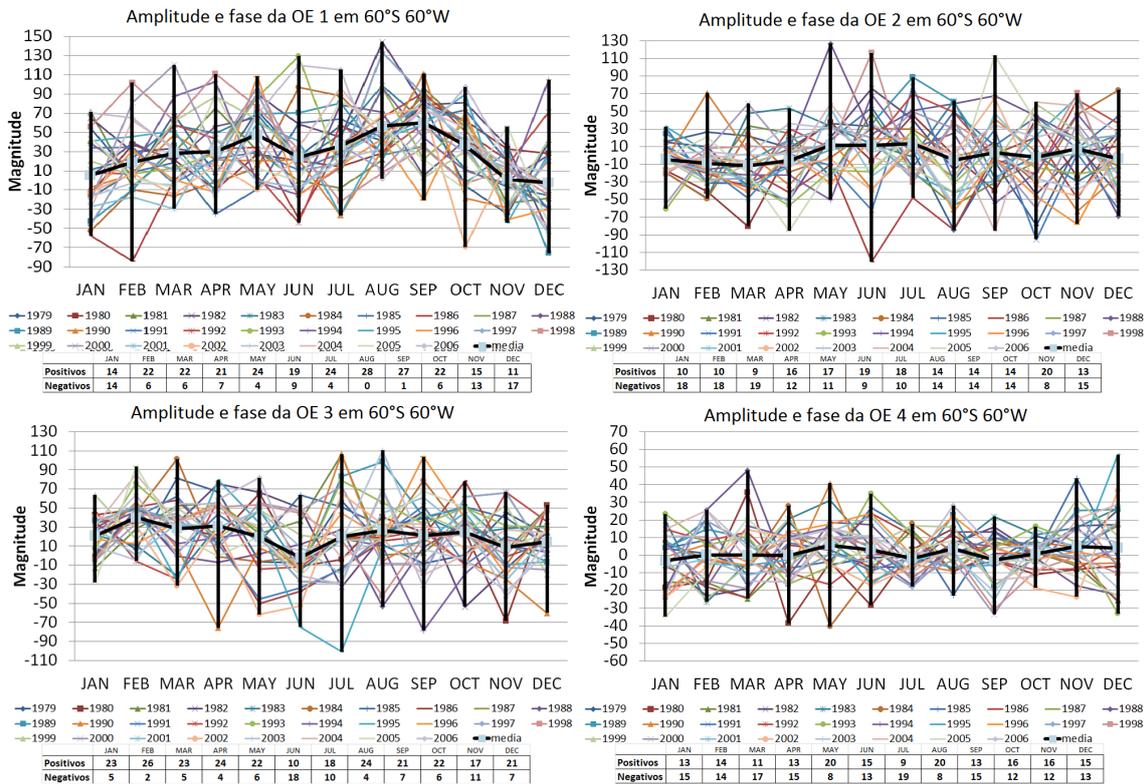


Figura 5.22 - Variabilidade da amplitude e fase das ondas 1 a 4 em 60°S, 60°W, em 200hPa (mgp), na tabela é mostrado o total de casos positivos e negativos.

## 5.6 O modo dominante de variabilidade das ondas 1 a 4

Nesta seção são mostradas as configurações espaciais referentes ao primeiro autovetor das Funções Ortogonais Empíricas, que representa o modo de variabilidade com maior variância, da anomalia zonal do geopotencial em 200 hPa, para cada onda de 1 a 4, em cada mês. Na Tabela 5.1 são apresentadas as variâncias desse modo para todos os meses.

Tabela 5.1 - Variância explicada pelo primeiro modo de variabilidade das ondas 1 a 4.

Onda	1	2	3	4
JAN	38.6	41.9	49.9	47.1
FEB	41.6	33.0	45.6	48.4
MAR	40.6	52.9	45.0	54.1
APR	39.4	36.8	60.9	58.4
MAY	37.6	47.9	54.2	62.6
JUN	37.2	48.8	54.9	56.7
JUL	36.8	51.2	50.1	49.9
AUG	37.4	40.9	63.7	49.1
SEP	39.9	45.9	51.6	50.7
OCT	41.8	47.2	44.5	61.0
NOV	45.32	51.5	52.5	46.8
DEC	49.5	42.8	53.3	53.8

As configurações para a onda 1 mostram os principais centros nas latitudes polares e de latitudes médias, com sinais opostos (Figura 5.23). Há um deslocamento desse centros de um mês para outro, no verão e outono, mas na maioria dos meses os centros são associados com a assimetria da Antártica, se estabelecendo sobre a Península Antártica e do lado oposto. Nos meses de janeiro, março e maio os centros se deslocam 90° atuando ao norte do Mar de Ross e do Mar de Weddel. Possivelmente esse deslocamento seja relacionado com a variabilidade do gelo nos dois mares, como uma forçante de baixo níveis. A variabilidade da onda 1 também tem sido associada ao deslocamento do vórtice polar, que intensificaria uma região (anomalia negativa do geopotencial) e desintensificaria a região oposta (anomalia positiva de geopotencial). Os centros das latitudes médias acompanham os centros polares, com sinal oposto, e afetam o sul da América do Sul em vários meses do ano. A variabilidade desses centros indica uma relação com a intensidade do jato subtropical e do jato polar.

A onda 2 também apresenta duas latitudes principais de variabilidade, uma ao redor

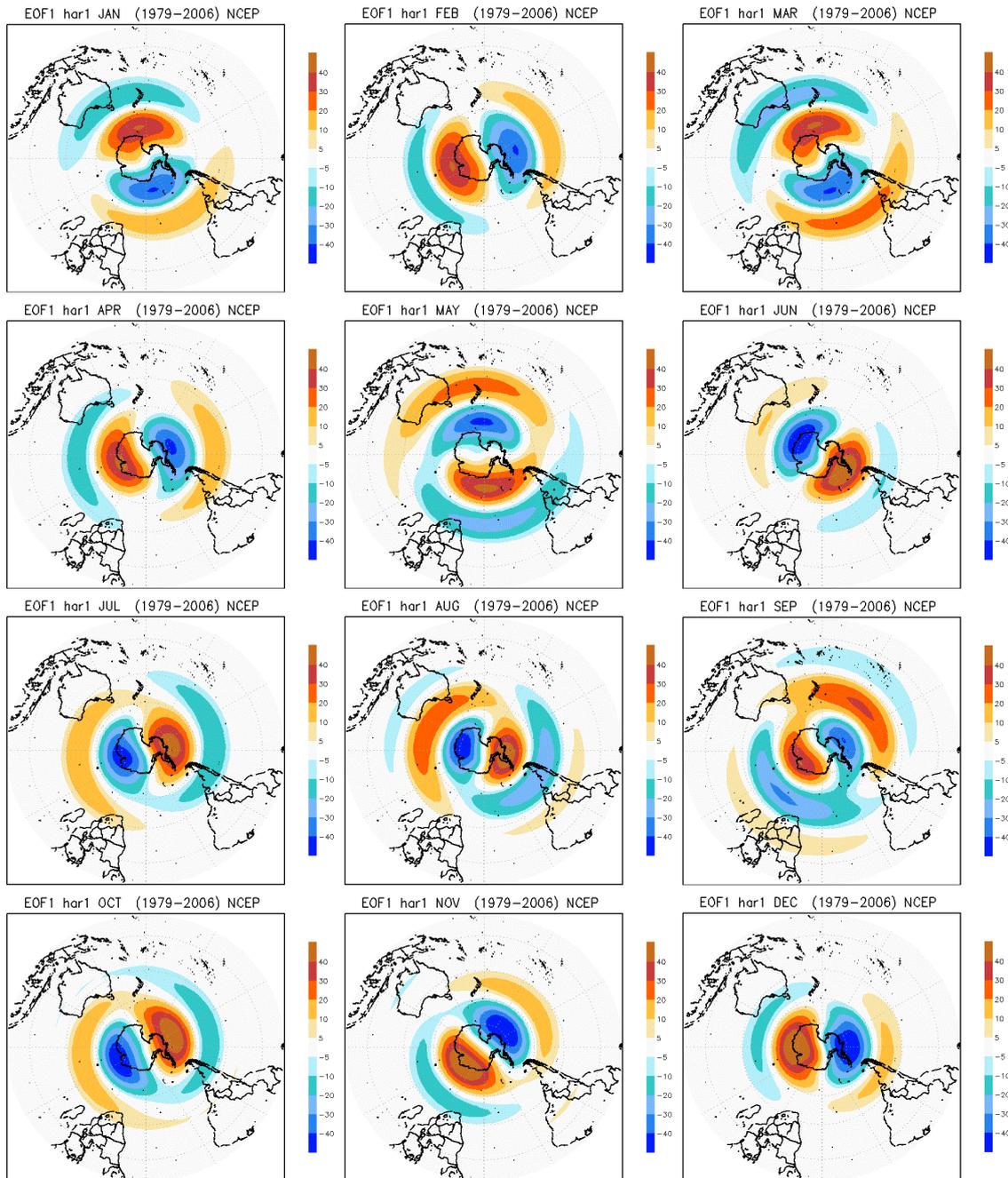


Figura 5.23 - Modo dominante de variabilidade da onda 1 nos 12 meses do ano.

da Antártica e outra em latitudes subtropicais, principalmente no inverno e primavera (Figura 5.24). A configuração oposta entre latitudes altas e subtropicais sugere uma relação com regiões de bloqueio no Hemisfério Sul.

Como visto nas análises anteriores, a onda 3 apresenta maior amplitude nas latitudes médias, sendo também nessas latitudes que ocorre a maior variabilidade associada

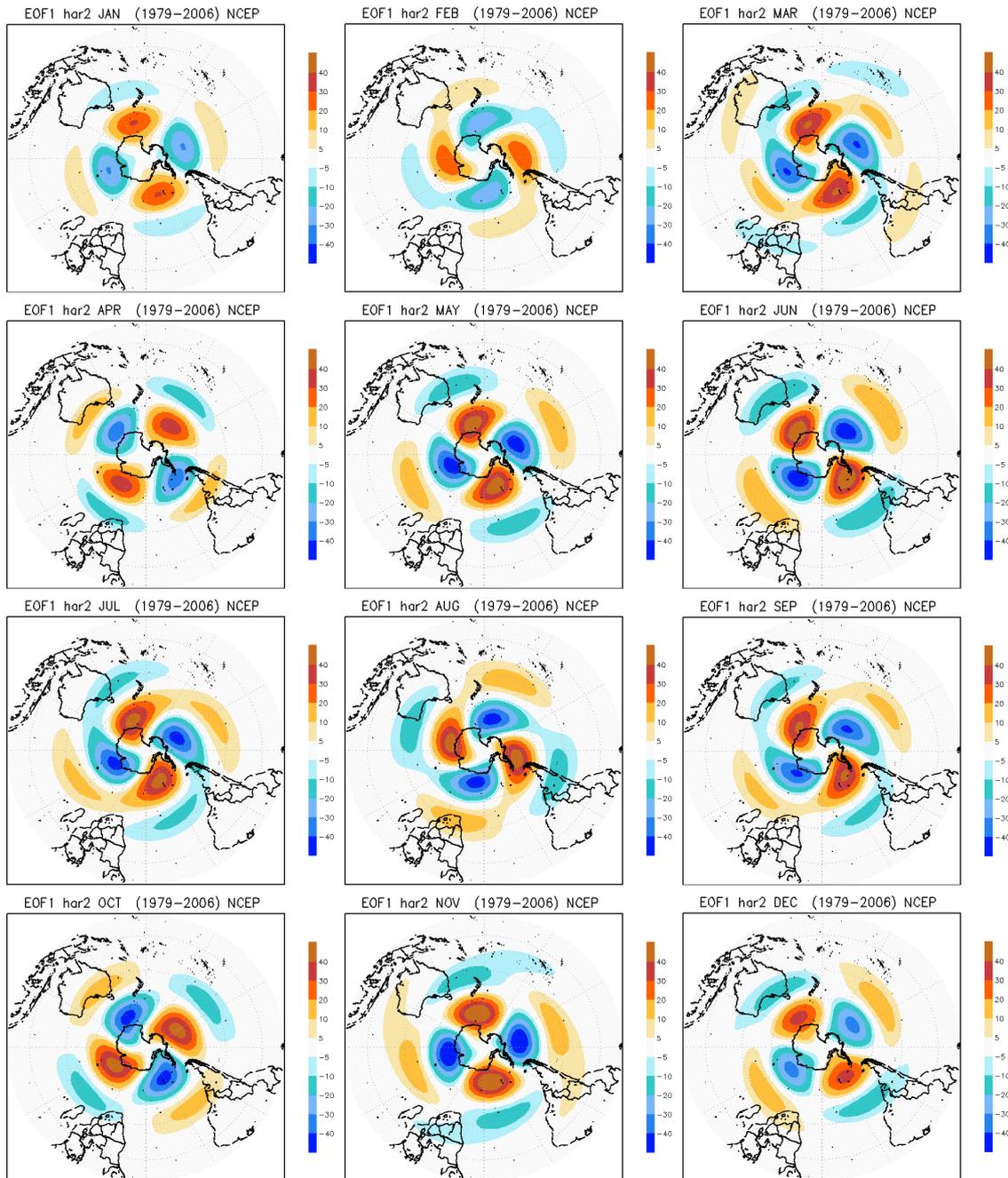


Figura 5.24 - Modo dominante de variabilidade da onda 2 nos 12 meses do ano.

(Figura 5.25). Os centros tem pouca variação longitudinal durante o ano, porém se intensificam no inverno. Essa onda tem sido associada a bloqueios (TRENBERTH; MO, 1985; MARQUES; RAO, 1999; CAVALCANTI, 2000), e nota-se na configuração de sua variabilidade os centros nas regiões de frequentes bloqueios: Pacífico Sudeste, Atlântico Sudoeste, Oceano Índico e região da Nova Zelândia.

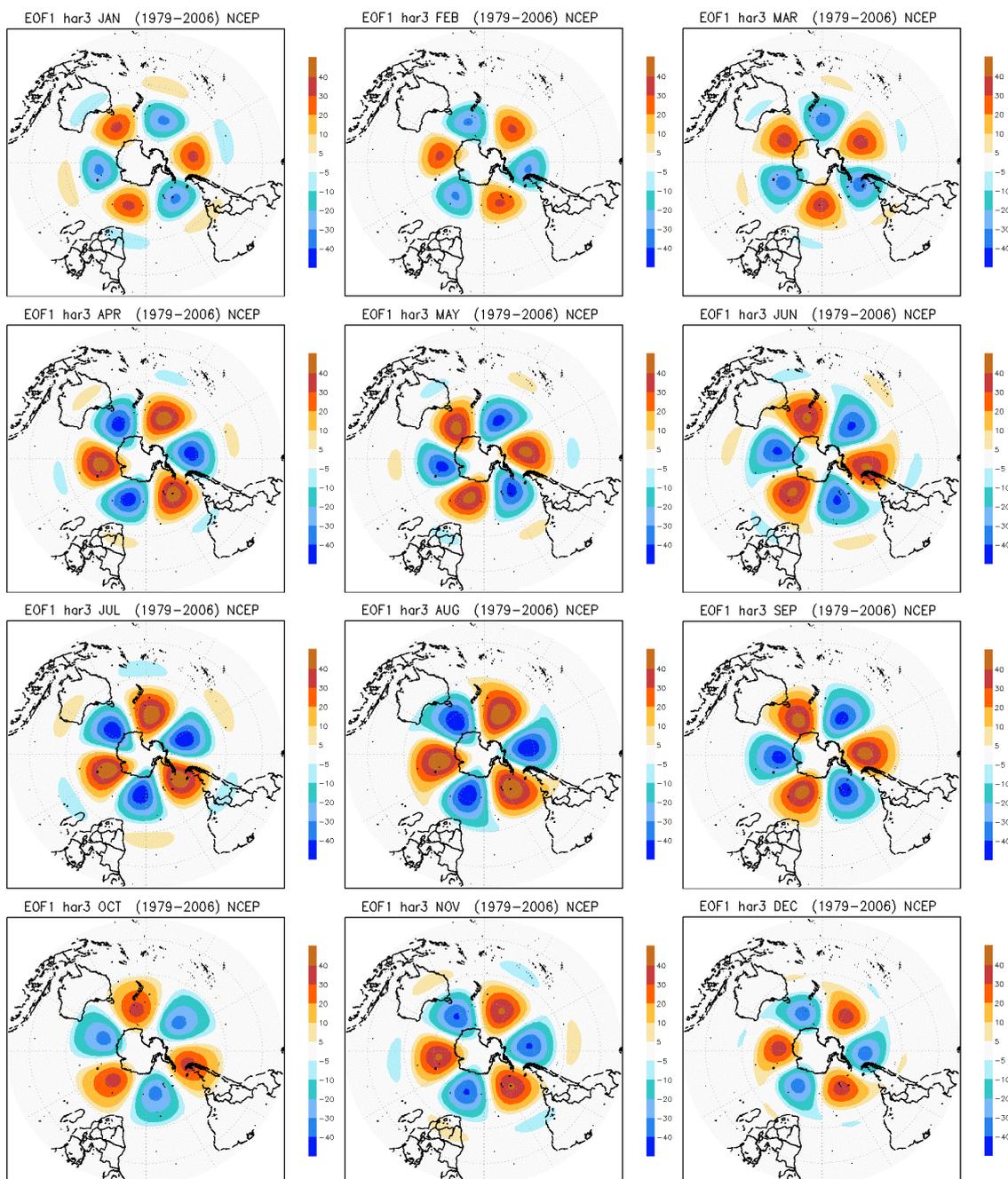


Figura 5.25 - Modo dominante de variabilidade da onda 3 nos 12 meses do ano.

A onda 4 apresenta os centros ao redor da Antártica em latitudes mais baixas do que as outras ondas e é mais intensa nos meses de verão e outono (Figura 5.26). Seus centros em latitudes médias também não sofrem muita variação longitudinal durante o ano. Porém sua variabilidade nas latitudes mais baixas, só ocorre no verão e outono. Os valores mínimos foram mudados para esta onda, para ressaltar sua influência sobre a América do Sul, como discutido no Capítulo 4. Nota-se em

Dezembro, Janeiro e Março a atuação de um dos centros sobre a América do Sul que pode indicar a interação com a ZCAS. Na Tabela 5.1 são apresentadas as variâncias das ondas 1 a 4, para todos os meses do ano. Esse primeiro modo representa, em alguns meses, mais da metade da variância explicada. Os outros modos mostram variações na posições dos centros (não mostrados).

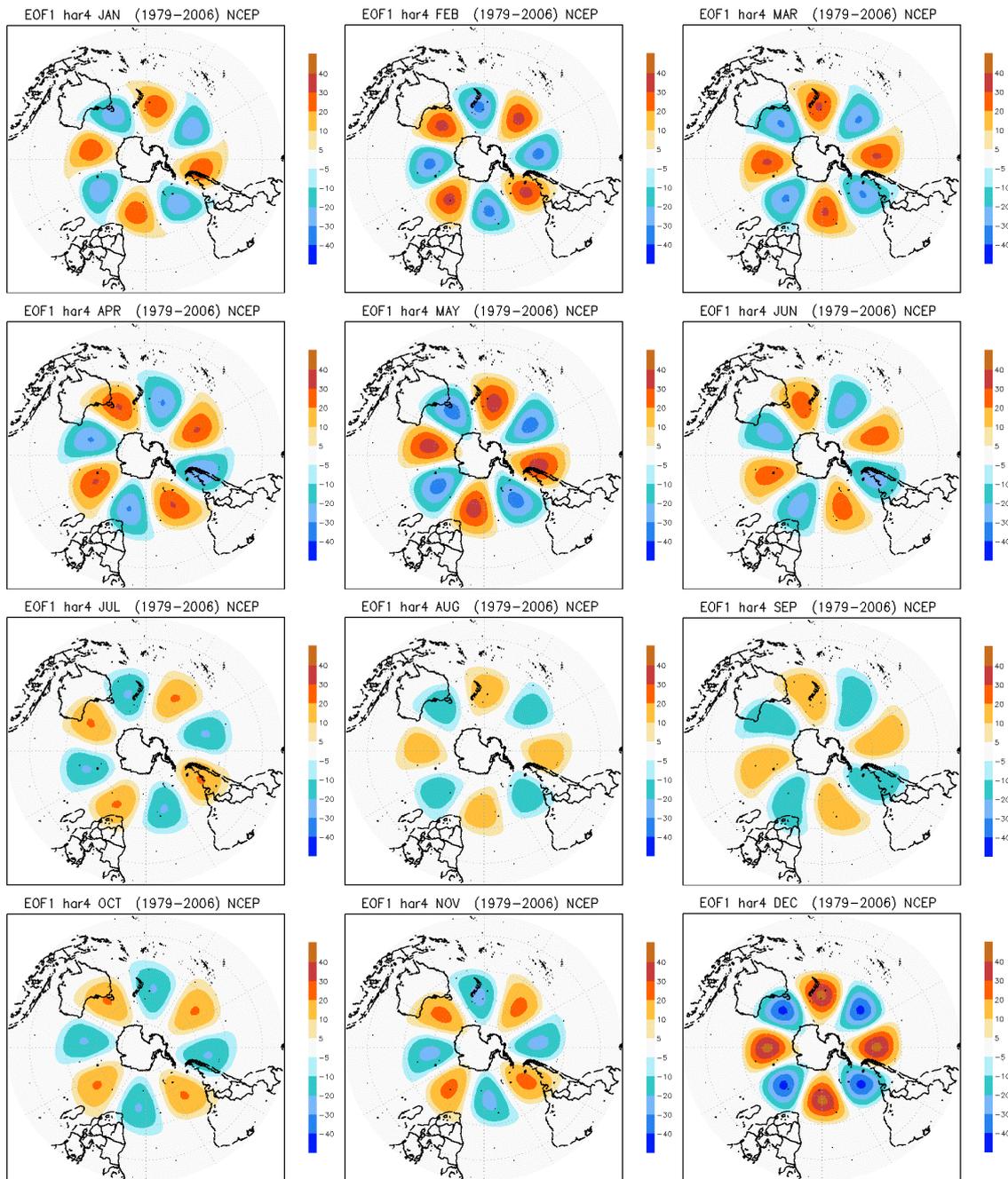


Figura 5.26 - Modo dominante de variabilidade da onda 4 nos 12 meses do ano.

## 5.7 Sumário

Nesse capítulo foram apresentadas as variabilidades anuais e sazonais das amplitudes das OES de 1 a 4, nas latitudes de 30°S, 45°S e 60°S, a análise das fases na longitude para 30°S, 45°S e 60°S na longitude de 60°W e foram também apresentadas análises referentes ao primeiro autovetor das EOF. As análises mostram que há uma grande variabilidade tanto mensal, como sazonal e anual das OEs no HS, indicando que há mudanças nas forçantes das ondas constantemente. Há também uma grande variabilidade na fase das OES próximo à AS, com todas as ondas apresentando anomalias nas amplitudes e na fase próxima à AS, indicando que há relação entre as OEs e anomalias climáticas. Nas análises de EOF foi possível identificar os padrões de variabilidade das OEs. A OE 1 parece ter maior relação com as condições Antárticas. A OE 2 sugere uma relação com regiões de bloqueios. A onda 3 também parece ter relação com áreas de bloqueio, concordando com os resultados da literatura. A onda 4 é mais intensa no verão e sua variabilidade nas latitudes mais baixas só ocorre no verão e no outono, fortalecendo os resultados do Capítulo 4, de interação entre essa onda e os sistemas de verão da AS.

## 6 COMPOSTOS E CASOS

Para as análises dos compostos, foram selecionados os 6 casos com as maiores amplitudes, para cada uma das 4 principais ondas, independentemente da latitude em que ocorreram. A Tabela 6.1 mostra os casos de máxima amplitude da onda 1. Pode-se observar que a OE 1 alcança amplitudes de até 254 mgp em agosto de 2004, podendo ser bem intensa em qualquer época do ano, embora no verão com amplitudes menores. Os casos da OE 2 são apresentados na Tabela 6.2, onde podemos ver que os casos de amplitude máxima para essa onda, tem amplitudes bem menores do que a OE 1, mas atingem valores semelhantes em todos os meses do ano, com um valor máximo em maio de 2002 e em setembro de 2005. Para a OE 3 (Tabela 6.3) as amplitudes dos casos são semelhantes às da onda 2 e a maior amplitude da série de dados foi observada em setembro de 1997 com um valor de 153 mgp. A OE 4 (Tabela 6.4) parece ser importante somente no verão, onde alcança valores de amplitude máxima, semelhante às ondas 2 e 3, alcançando um máximo em dezembro de 1995, onde atingiu um valor de 105 mgp. Com base nessas Tabelas, foram analisadas as situações com fase semelhante, que serão discutidas a seguir.

Tabela 6.1 - Casos de máxima amplitude OE 1 no HS em 200 hPa (mgp).

Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun	
AMP	Ano										
172	1983	180	1998	183	1994	178	1999	199	1998	233	1985
167	1993	161	1987	175	1997	163	1991	178	1991	226	2005
136	2000	160	2006	166	2000	161	1998	167	1979	225	1993
134	1984	138	1983	165	1987	159	1981	164	1994	204	2006
132	1996	134	1992	162	1993	150	1992	160	1997	202	1992
126	1991	125	2000	151	1980	143	1993	159	1993	194	1990
Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
AMP	Ano										
239	1995	254	2004	212	1990	226	1994	214	1986	197	1999
226	2004	220	1987	207	1986	223	1991	198	2002	183	2006
225	1988	218	1988	199	1979	215	1985	193	2005	182	1992
207	2006	207	2001	194	1981	198	1984	186	1991	177	1993
200	1997	203	1993	188	1992	195	1982	179	1958	170	1979
193	1994	194	2002	187	1980	172	1997	174	2004	166	1980

Tabela 6.2 - Casos de máxima amplitude OE 2 no HS em 200 hPa (mgp).

Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun	
AMP	Ano										
101	1997	79,9	2001	106	1992	111	2006	139	2002	128	1986
81,1	2002	72,1	1999	100	1980	105	1997	131	1988	120	2002
78,7	1989	71,8	1986	87,7	2000	88,9	2005	108	1992	120	2005
71,4	1987	71,5	1990	83	1983	80,8	1990	107	1991	118	1991
69	1983	56,3	1994	75,6	2006	15,8	1980	91,4	1986	116	1998
60,7	1993	53,3	1984	74,8	1996	73,3	1983	85,5	1997	110	1985
Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
AMP	Ano										
133	1991	116	1988	139	2005	137	1992	128	1982	103	1984
113	1989	111	1979	95,7	1985	112	1991	113	1996	97,5	2006
100	1995	109	1989	94,2	1989	97,4	2001	108	2001	85,1	2001
99,9	2000	104	1986	89,7	2002	86,7	1997	102	1997	84,9	1988
85,8	1980	91	1983	86,2	2001	86,5	1979	102	1990	78,8	1998
85,7	1992	89,9	2001	86,1	2004	84,1	1986	83,7	1993	67	1991

Tabela 6.3 - Casos de máxima amplitude OE 3 no HS em 200 hPa (mgp).

Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun	
AMP	Ano										
96,4	2004	109	2005	119	1984	118	1995	132	1998	107	1979
95,7	1999	109	1993	104	1979	109	2003	107	2002	99,7	1991
70,4	1992	103	1990	81,8	2003	98,2	2001	98,2	1980	96,4	1985
65,3	1991	98,5	2004	77,4	2004	94,4	1998	90,5	2006	93,3	1984
62,1	1997	98	1980	75,6	1991	94	2006	76,2	1983	90,5	1982
61,7	2002	88,4	1991	70,2	1981	93,6	1990	71,6	1987	87,4	1988
Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
AMP	Ano										
138	2001	123	2003	153	1997	115	1986	111	1985	112	2001
120	1981	119	2006	120	1996	91,6	1987	94,2	2000	84	2006
119	1980	112	1989	96,1	1993	81,9	1981	92,9	1980	75,8	2005
111	1990	101	2000	94,8	1984	81,6	2005	72,5	1992	70,5	1998
105	1995	100	1999	87,9	2001	77	1982	71,1	1987	64,6	1980
96,2	1993	86,9	1995	82,6	1994	76,9	1999	70,1	1999	60,6	1990

Tabela 6.4 - Casos de máxima amplitude OE 4 no HS em 200 hPa (mgp).

Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun	
AMP	Ano										
98,6	2001	84,6	1983	73,1	1988	91,1	1980	81,2	1980	61	1997
74	1998	83,5	1992	70	1992	77,4	1992	81,1	1984	59,7	1985
67	2005	76,1	1998	67,1	1981	64,3	1993	75,2	2002	48,6	1993
60	1997	75,3	1997	66,1	1986	61,3	2002	70,7	2001	45,7	1982
56,4	1996	74,1	2000	55	2006	56,3	1985	62	2005	40,8	1990
53,7	1988	61,8	1982	54,8	1995	52,4	1987	61,2	1992	39,6	1992
Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez	
AMP	Ano										
64,4	1995	54,5	2001	43,6	2001	62,4	2002	66,3	2000	105	1995
55,2	1999	54,2	1995	13,4	1985	57,4	1984	62,5	1985	102	2004
50,7	2006	49,9	2002	41,9	1994	44,7	2006	51,5	1992	95,1	2005
47	1987	40	1999	41,9	1998	38,8	2005	50,3	2002	82,8	1989
40,8	1981	39	1996	36,7	2000	34,8	1991	49,2	1988	69,4	1988
37,5	2005	38,9	1989	34,4	1983	32,4	1983	45,7	1999	68	1979

## 6.1 Compostos da OE 1

A fase da onda 1 foi analisada nos casos de máxima amplitude (Tabela 6.1), onde foram separados em casos sazonais, e posteriormente foram agrupados em compostos simples, fazendo as médias dos campos dos casos com fases em longitudes semelhantes. Como a fase da onda 1 não varia muito para os casos selecionados (Tabela 6.5), com uma variação máxima de  $65^\circ$  de longitude, entre o caso mais a oeste e o caso mais a leste, no outono, optou-se pela divisão em somente 3 compostos, conforme indicado na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 - Fase da OE 1 para os casos de amplitude máxima da tabela 6.1.

Verão	fase	Comp.	Outono	fase	Comp.	Inverno	fase	Comp.	Primavera	fase	Comp.
JAN 1984	-169	1	MAR 1987	-144	1	JUN 1992	-160	1	NOV 1991	-154	1
JAN 2000	-160	1	MAR 1993	-142	1	JUL 1995	-160	1	NOV 2004	-151	1
JAN 1996	-158	1	MAR 1980	-141	1	JUN 2005	-148	1	OCT 1994	-145	1
DEC 2006	-154	1	MAY 1994	-140	1	JUL 1994	-147	1	NOV 2002	-143	1
DEC 1993	-153	1	APR 1991	-138	1	JUN 1990	-144	1	NOV 1986	-141	1
FEB 1992	-148	2	APR 1993	-134	1	AUG 2004	-143	2	NOV 1985	-136	2
JAN 1983	-144	2	MAY 1991	-132	1	AUG 2001	-139	2	OCT 1991	-132	2
FEB 1987	-141	2	MAY 1998	-118	2	JUN 1985	-131	2	SEP 1980	-130	2
DEC 1980	-140	2	APR 1981	-117	2	JUL 1988	-128	2	NOV 2005	-130	2
DEC 1999	-140	2	MAY 1997	-116	2	AUG 2002	-125	2	OCT 1984	-126	2
DEC 1979	-135	2	MAR 1994	-114	2	AUG 1988	-124	2	OCT 1985	-126	2
JAN 1993	-135	2	MAY 1979	-114	2	JUL 1997	-123	2	SEP 1986	-124	3
FEB 1983	-135	2	MAR 1997	-113	2	JUL 2004	-122	3	SEP 1992	-124	3
DEC 1992	-129	3	APR 1999	-110	2	AUG 1993	-119	3	SEP 1981	-123	3
JAN 1991	-129	3	APR 1992	-108	2	JUL 2006	-111	3	SEP 1979	-122	3
FEB 2006	-129	3	MAY 1993	-107	2	JUN 2006	-106	3	OCT 1982	-122	3
FEB 1998	-117	3	APR 1998	-100	3	AUG 1987	-106	3	OCT 1997	-122	3
FEB 2000	-114	3	MAR 2000	-79	3	JUN 1993	-104	3	SEP 1990	-112	3

Conforme a Tabela 6.5 os casos foram divididos em 3 compostos (cada composto possui casos com mesma fase em longitudes semelhantes). Como a OE 1 é uma onda de escala planetária, ela deve ter uma ligação com eventos climáticos globais como El Niño e La Niña (conforme indicado por Fernandez (2004)). No composto 1 (Figura 6.1), predominam casos com La Niña, onde pode-se observar uma forte anomalia negativa de precipitação sobre o Oceano Pacífico Equatorial Oeste. Essa configuração indica casos de La Niña não canônicos, que são os que tem anomalias de TSM no Pacífico equatorial oeste e tem influências diferentes dos canônicos sobre a América do Sul (TEDESCHI et al., 2012). Essa anomalia negativa influencia a circulação atmosférica em altos níveis, deslocando para oeste os centros da onda 1 sobre o Pacífico e também sobre o Atlântico. Comparando com o composto 2 (Figura 6.1), em que predominam casos de El Niño, com anomalias positivas de precipitação no Pacífico Tropical central, os centros se deslocam para leste, com a crista também mais intensa sobre o Pacífico Central, nas latitudes altas, e sobre a África do Sul, nas latitudes subtropicais. O composto 3 apresenta os centros mais deslocados para leste, e as anomalias positivas de precipitação no equador estendidas para o Pacífico Leste.

Como as ondas apresentaram um comportamento barotrópico equivalente, no estudo climatológico, com as amplitudes variando de intensidade com a altura, mas alinhadas verticalmente, foram analisadas as temperaturas em baixos níveis dos compostos e sua relação com os centros das OE.

Com relação às anomalias de temperatura (Figura 6.2), nota-se que a amplificação da OE1 no verão parece ter relação com anomalias de temperatura próximo ao continente Antártico. Dependendo da posição dos centros, há consistência do padrão das ondas com as anomalias de temperatura naquela região. No composto 1, a posição dos centros favorece a advecção de ar frio sobre a costa da Antártica, enquanto no composto 3, com os centros deslocados para leste, há advecção de ar quente pela ação da crista e de ar frio pela ação do cavado. Essas diferenças podem ser relacionadas à topografia, que se estende sobre a Antártica alinhada à Península.

Os compostos 1 e 2 de outono não apresentam grandes destaques nas anomalias de precipitação (Figura 6.3), porém o composto 3 apresenta características de El Niño, e suas influências sobre o Nordeste (seco) e sul do Brasil (chuvoso). Quanto às características anômalas de temperatura (Figura 6.4), o composto 1 favorece anomalias positivas de temperatura sobre o norte da Argentina, com a ação da crista sobre essa região. O composto 3 favorece anomalias negativas de temperatura

no centro norte da Argentina, associadas ao cavado sobre a região. Também são observadas anomalias de temperatura semelhantes ao composto 3 do verão próximo à Antártica.

No inverno ocorrem anomalias positivas de precipitação próximo ao Uruguai e Sul do Brasil, no composto 1, e anomalias negativas no composto 2, no sul do Brasil (Figura 6.5). No composto 1, a crista da onda 1 subtropical está sobre o Atlântico, influenciando também a costa sudeste da América do Sul, enquanto no composto 2 a crista está deslocada para leste. Esta configuração sugere que no composto 1 a crista em altos níveis da onda 1 se estendendo para o níveis mais baixos, pode afetar a intensidade da Alta Subtropical do Atlântico a qual pode contribuir para a advecção de ar úmido do oceano e a precipitação associada a sistemas sinóticos na região.

No composto 2, a alta subtropical teria a influência da crista da onda 1 deslocada para leste, sem contribuição para a precipitação no continente. A influência da crista na temperatura sobre a América do Sul só ocorre no composto 1, o qual apresenta característica de invernos mais quentes sobre Uruguai e norte da Argentina.

Nos compostos de primavera (Figura 6.7) nota-se a mesma situação do inverno, com anomalias opostas entre o composto 1 e 2, no sul do Brasil. Os compostos de anomalia de temperatura (Figura 6.8) indicam uma relação da onda 1 com anomalias de temperatura nas regiões polares. Sobre a AS ressalta-se no caso 2 a tendência de temperaturas mais altas sobre a parte Central da Argentina.

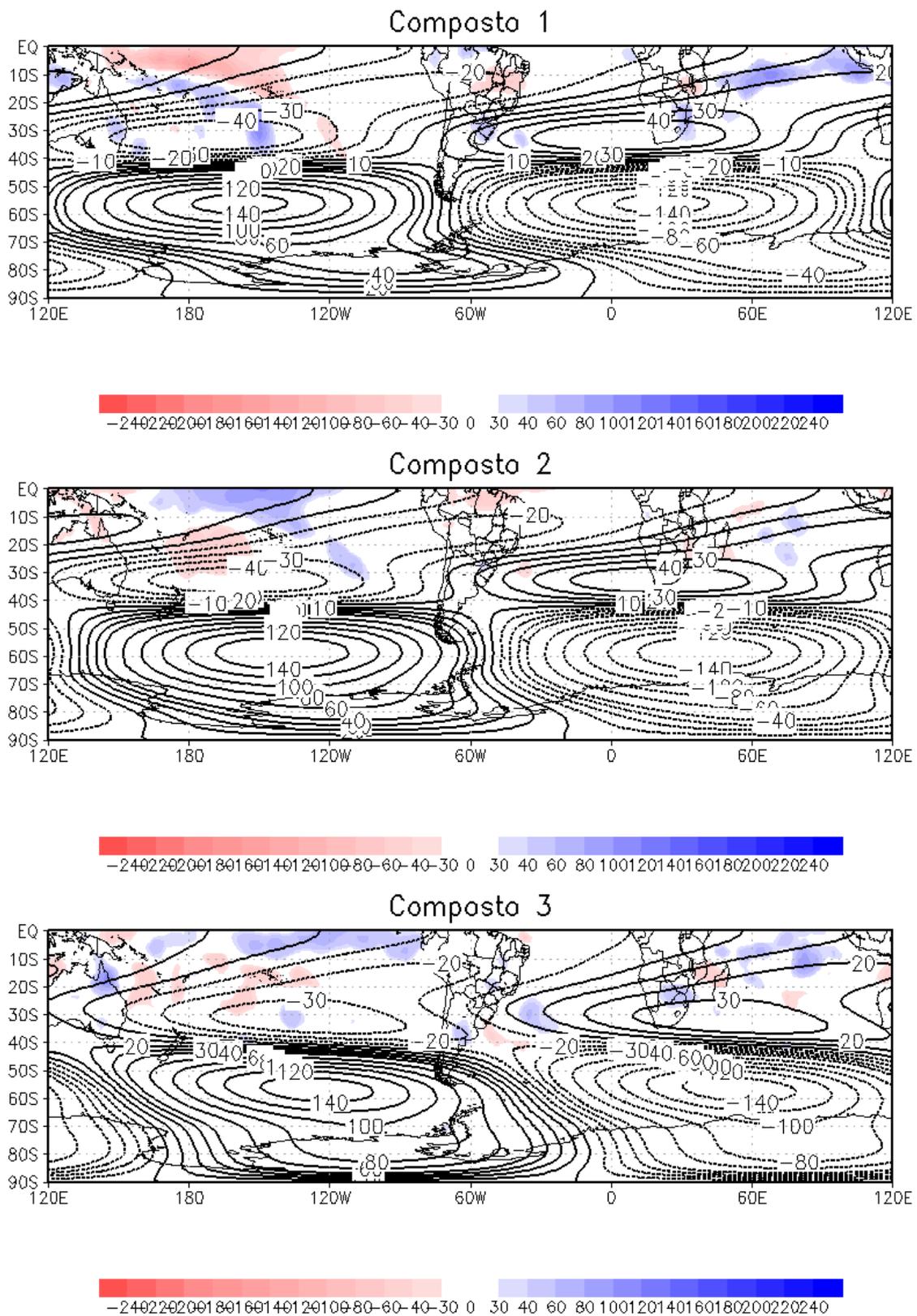


Figura 6.1 - Compostos para a OE 1 em 200hPa (m/gp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.5.

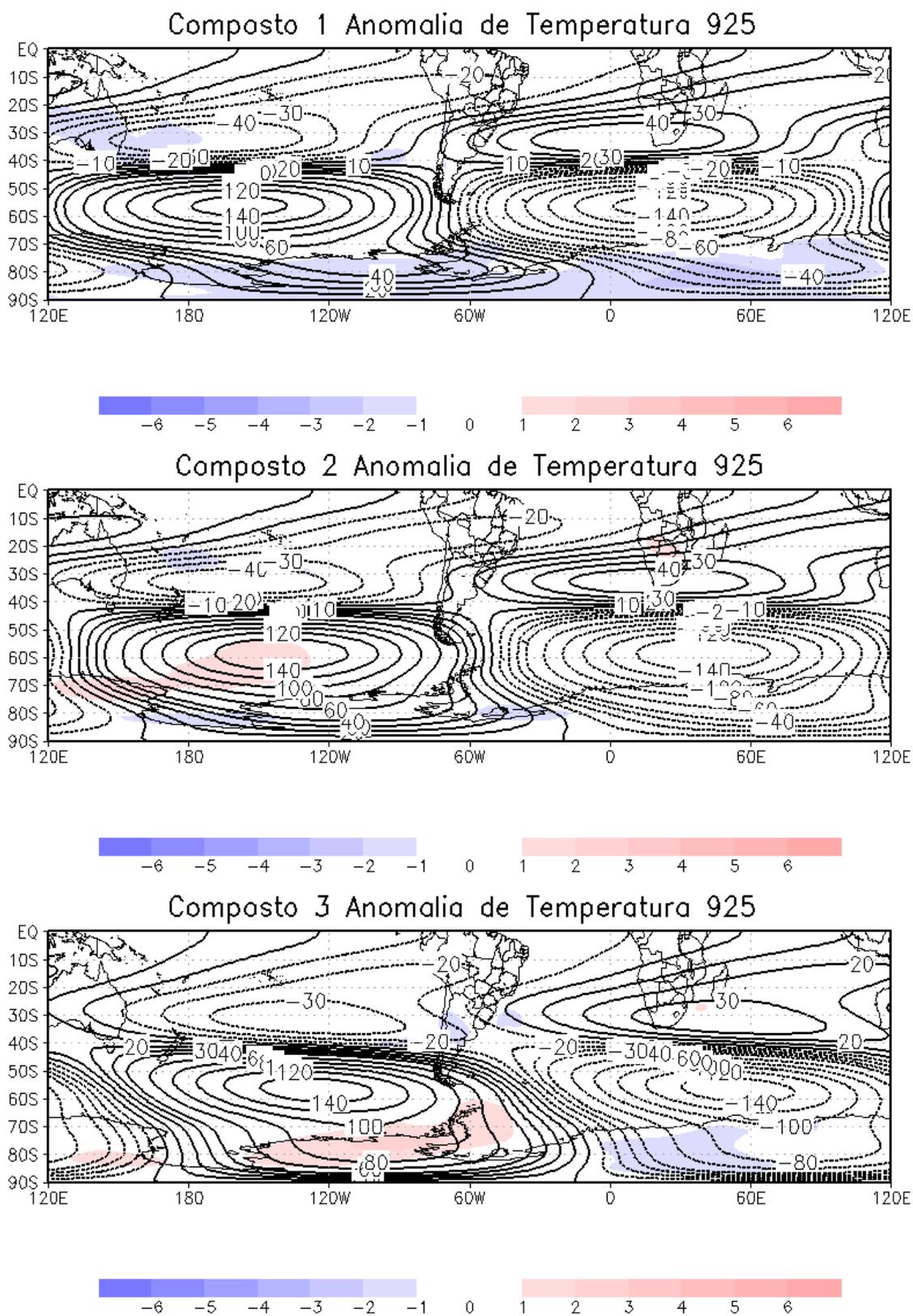


Figura 6.2 - Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.5.

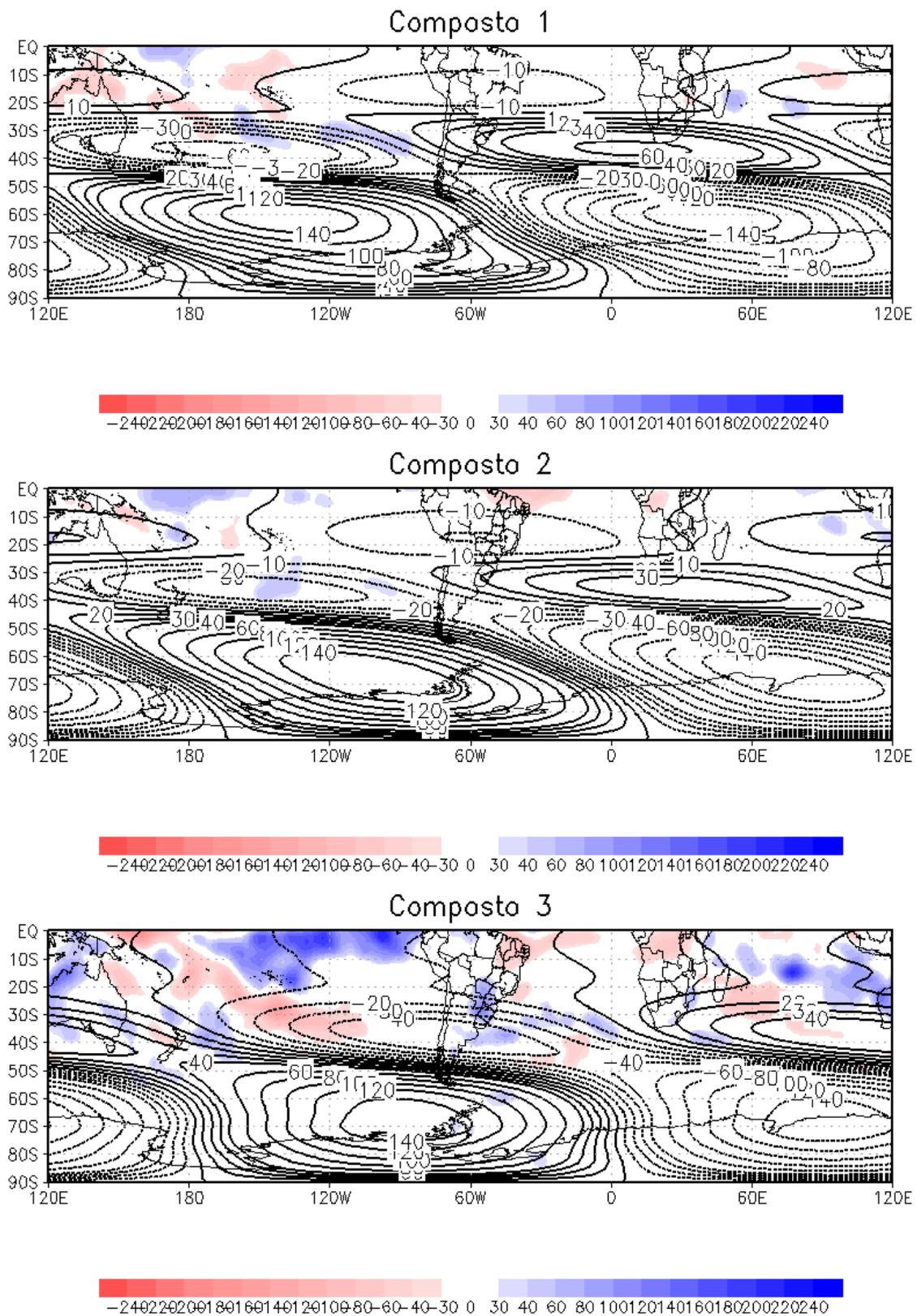


Figura 6.3 - Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de outono (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.5.



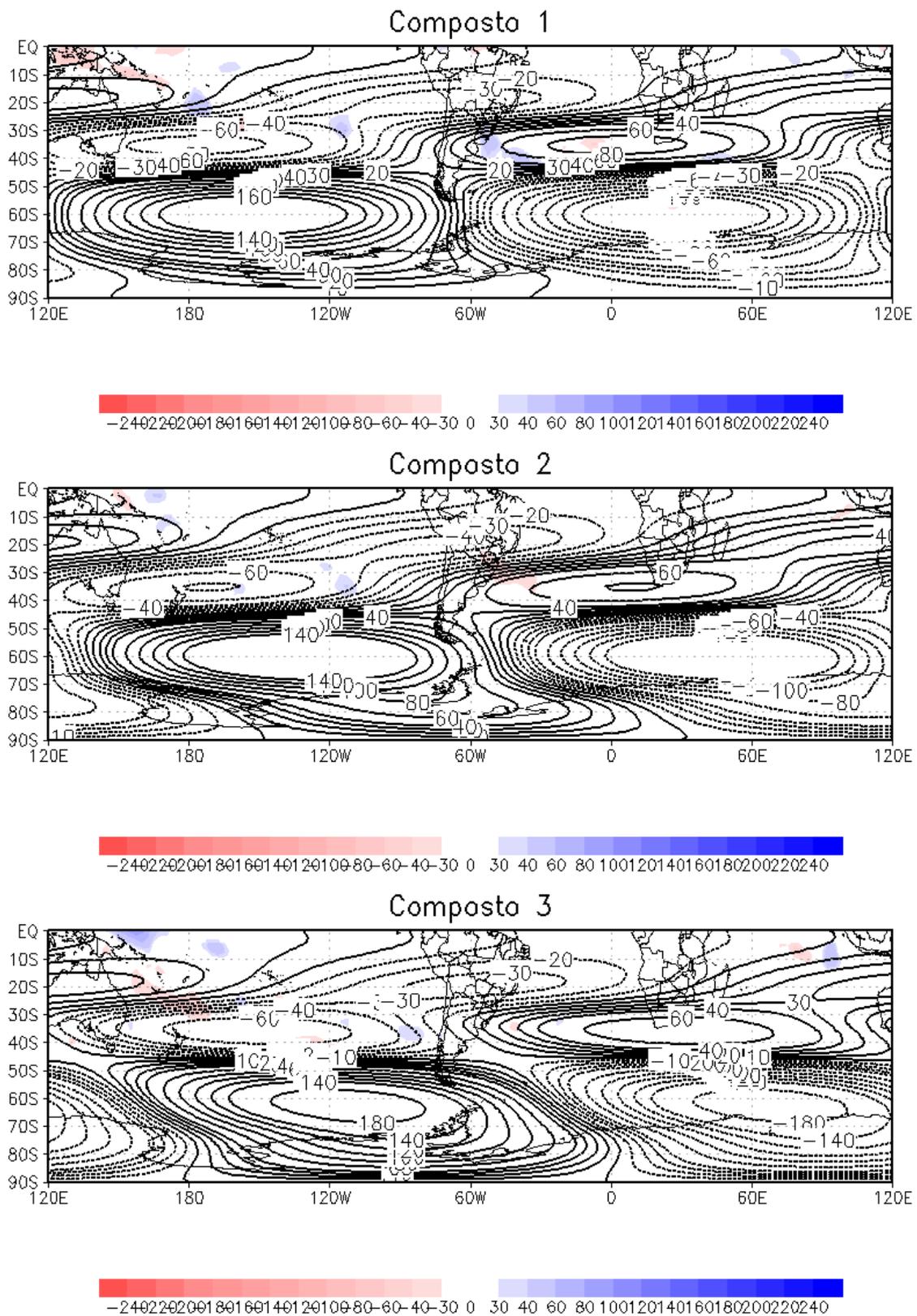


Figura 6.5 - Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgs) para os meses de inverno (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.5.

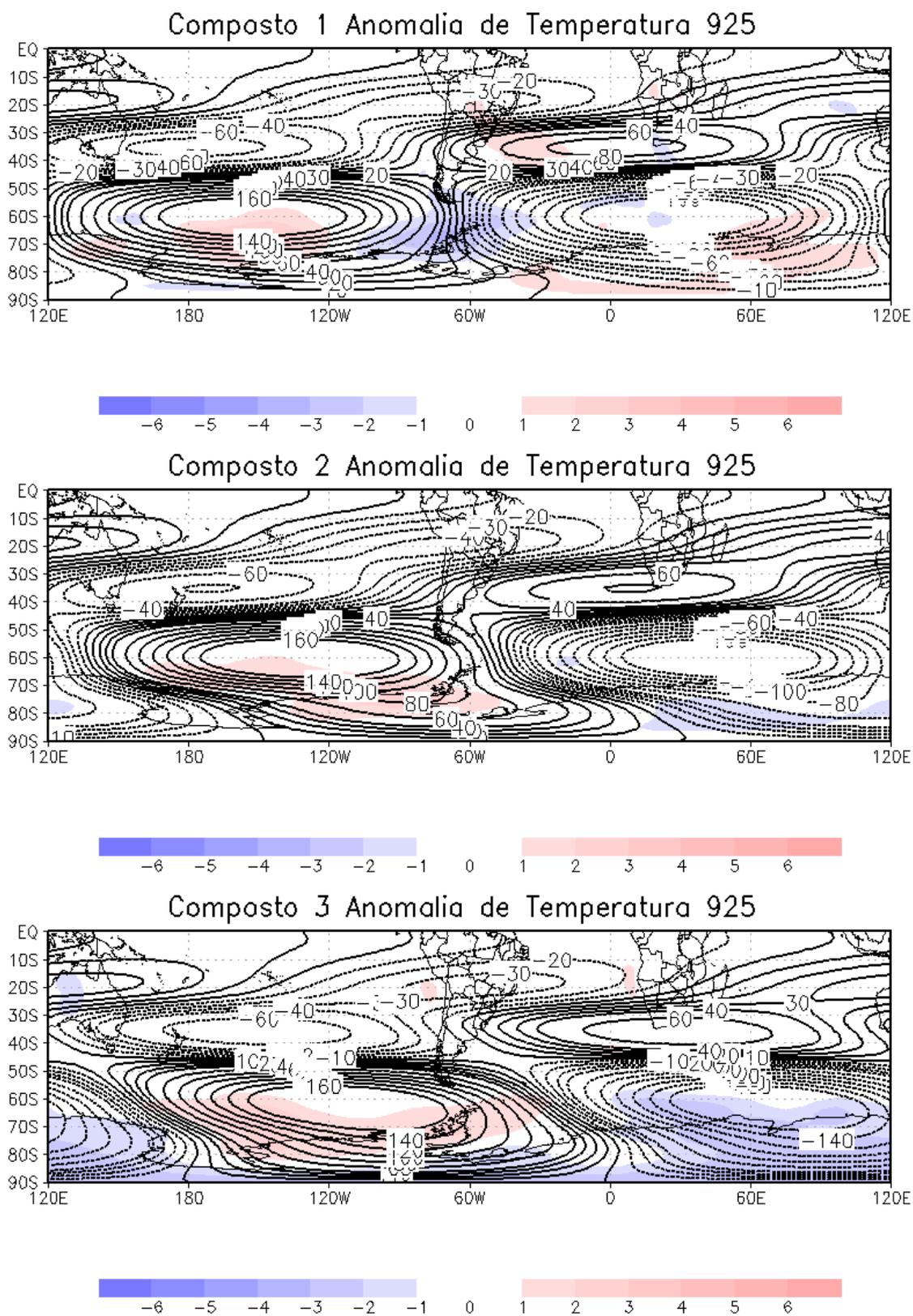


Figura 6.6 - Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de inverno (linhas) e média das anomalias temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.5.

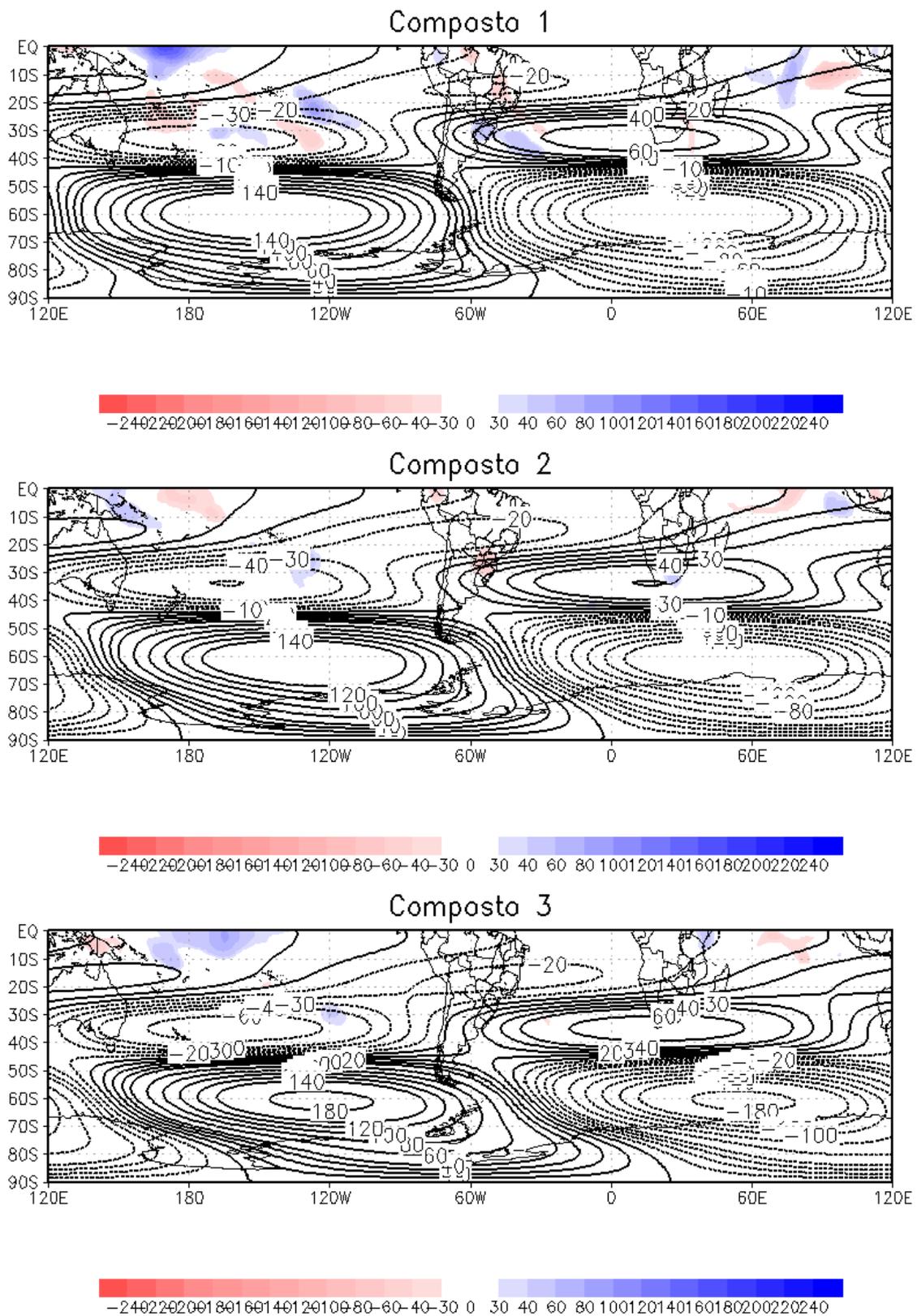


Figura 6.7 - Compostos para a OE 1 em 200hPa (m/gp) para os meses de primavera (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.5.

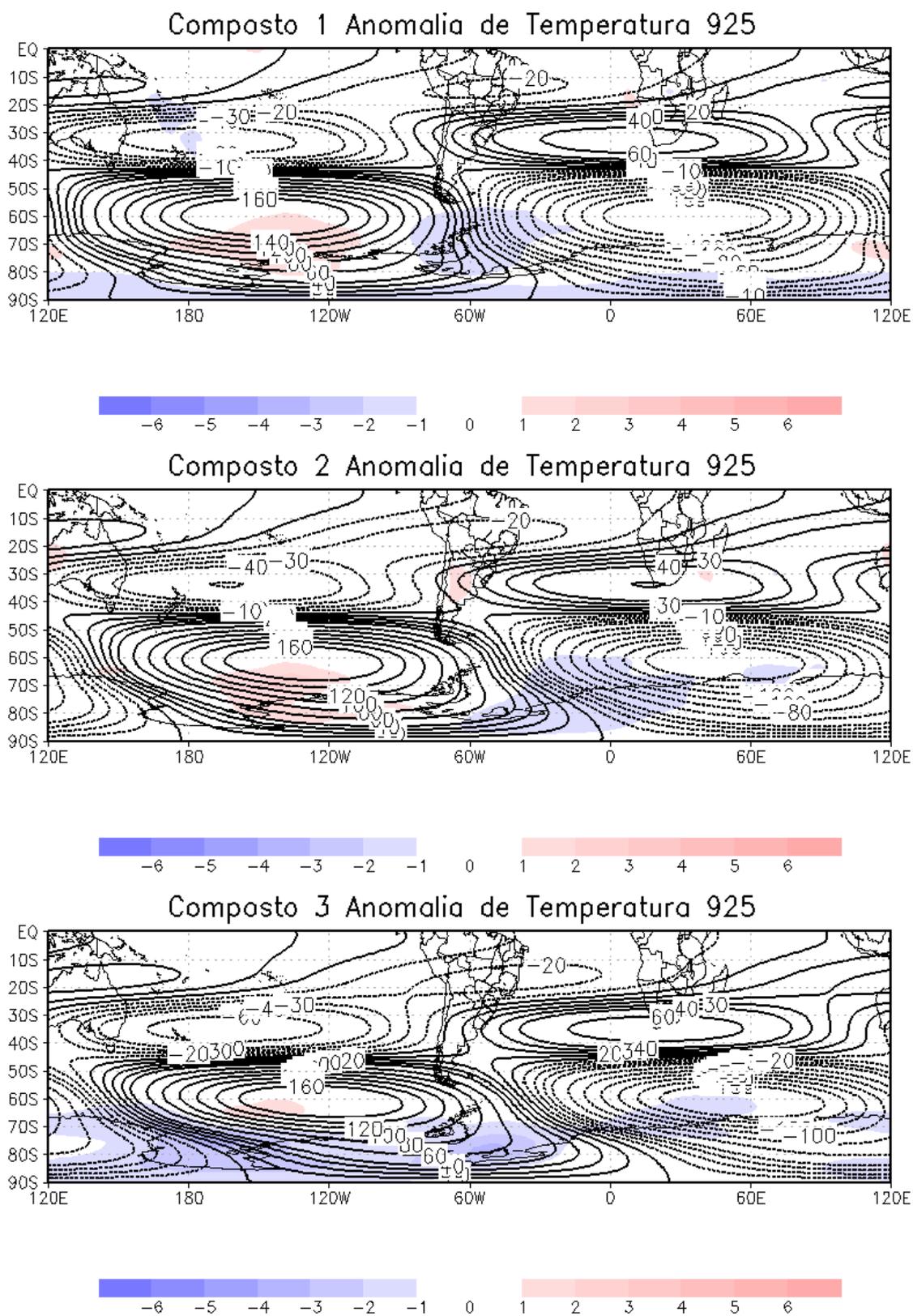


Figura 6.8 - Compostos para a OE 1 em 200hPa (mgp) para os meses de primavera (linhas) e média das anomalias de temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.5.

## 6.2 Compostos da OE 2

A fase da onda 2 foi analisada nos casos de máxima amplitude (Tabela 6.2), onde foram separados em casos sazonais, e posteriormente foram agrupados do mesmo modo que para a onda 1. Os casos foram selecionados conforme os dados da Tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Fase da OE 2 para os casos de amplitude máxima da tabela 6.2.

Verão	fase	Comp.	Outono	fase	Comp.	Inverno	fase	Comp.	Primavera	fase	Comp.
FEB 1990	-62	1	MAY 1997	-87	1	AUG 1988	-83	1	SEP 2005	-49	1
DEC 1984	-37	1	MAR 1983	-85	1	JUL 1991	-81	1	SEP 2002	-39	1
JAN 1989	-24	1	MAY 1988	-67	1	JUN 1985	-80	1	OCT 1986	-39	1
DEC 2001	-13	2	APR 1983	-55	1	JUL 1992	-77	1	SEP 2001	-38	1
JAN 1987	-13	2	MAR 2000	-36	1	JUL 1980	-75	1	SEP 1985	-18	1
FEB 1986	-12	2	MAR 2006	-15	2	JUN 1998	-61	1	NOV 2001	-15	1
JAN 2002	-9,1	2	APR 2006	-15	2	JUL 1989	-41	1	OCT 2001	-13	1
JAN 1997	-6,5	2	MAR 1996	1,92	2	AUG 1983	-41	1	SEP 1989	-12	1
FEB 1994	-5,8	2	APR 2005	29,5	2	AUG 1989	-31	2	OCT 1992	-9,9	1
DEC 2006	-2,5	2	MAR 1980	31,6	2	JUL 2000	-29	2	NOV 1993	-7,8	1
FEB 1999	-1,3	2	APR 1997	33,9	3	AUG 2001	7,03	2	NOV 1990	4,15	2
DEC 1998	5,95	2	APR 1990	59,7	3	AUG 1979	10,1	2	NOV 1996	7,5	2
JAN 1983	13,8	2	MAR 1992	64,4	3	AUG 1986	13,8	2	OCT 1979	23,5	2
DEC 1988	16,1	2	MAY 1986	70,4	3	JUN 1986	29,7	3	SEP 2004	27,2	2
FEB 1984	22,2	3	MAY 1991	71,7	3	JUN 1991	59	3	OCT 1991	44,6	3
JAN 1993	28,1	3	MAY 2002	74	3	JUN 2002	65,4	3	NOV 1997	69,6	3
DEC 1991	36,9	3	MAY 1992	77,2	3	JUL 1995	68,7	3	NOV 1982	75,9	3
FEB 2001	57	3	APR 1980	77,8	3	JUN 2005	70	3	OCT 1997	87,4	3

Os compostos da onda 2 com o campo de anomalia de precipitação são mostrados na Figura 6.9. O composto 1 da OE 2 para o verão mostra anomalias positivas de precipitação sobre a parte central do Brasil e uma também anomalias negativas que abrangem quase que todo o NE do Brasil e parte do Sudeste. O composto 2 não apresenta qualquer tipo de anomalia sobre a AS. O Composto 3 mostra anomalias positivas de precipitação sobre a parte NE da Argentina e sul do Brasil.

Os compostos com anomalias de temperatura, são apresentados na Figura 6.10. Os compostos 1 e 2 não apresentam qualquer indício de interação com anomalias de temperatura sobre a AS. O composto 3 indica uma leve anomalia positiva sobre o Sul do Brasil. Nos casos 1 e 2 a amplificação da OE2 parece ter relação com anomalias de temperatura na região Oceânica e em regiões Polares.

Os compostos de anomalia de precipitação para o outono são apresentados na Figura 6.11. O composto 1 indica um padrão de anomalia de precipitação de El Niño. O composto 2 mostra anomalias positivas de precipitação sobre a região norte do Brasil e Norte da Austrália, indicando uma possível relação entre a convecção tropical e a amplificação da OE 2 em latitudes médias. O composto 3 não está relacionada

a anomalias de precipitação. Quanto as anomalias de temperatura (Figura 6.12) novamente apresenta anomalias próximo a regiões polares.

Os casos de Inverno para a OE 2 não apresentaram importantes anomalias de precipitação (não mostrados). As anomalias de temperatura (Figura 6.13), indicam que há interação entre anomalias de temperatura, próximo a regiões polares. O composto 3 apresenta anomalias positivas de temperatura sobre parte do Brasil, indicando que a amplificação da onda 2 com essa fase tem interação com invernos mais quentes sobre essa região.

Nos composto de primavera (Figura 6.14), destaca-se somente o composto 3 que destaca novamente os efeitos do El Niño, com uma possível conexão entre as anomalias de precipitação tropicais e a amplificação da OE2 em latitudes extratropicais. As anomalias de temperatura (Figura 6.15) novamente mostram anomalias nas regiões polares que parecem estar de acordo com as anomalias na OEs 2.

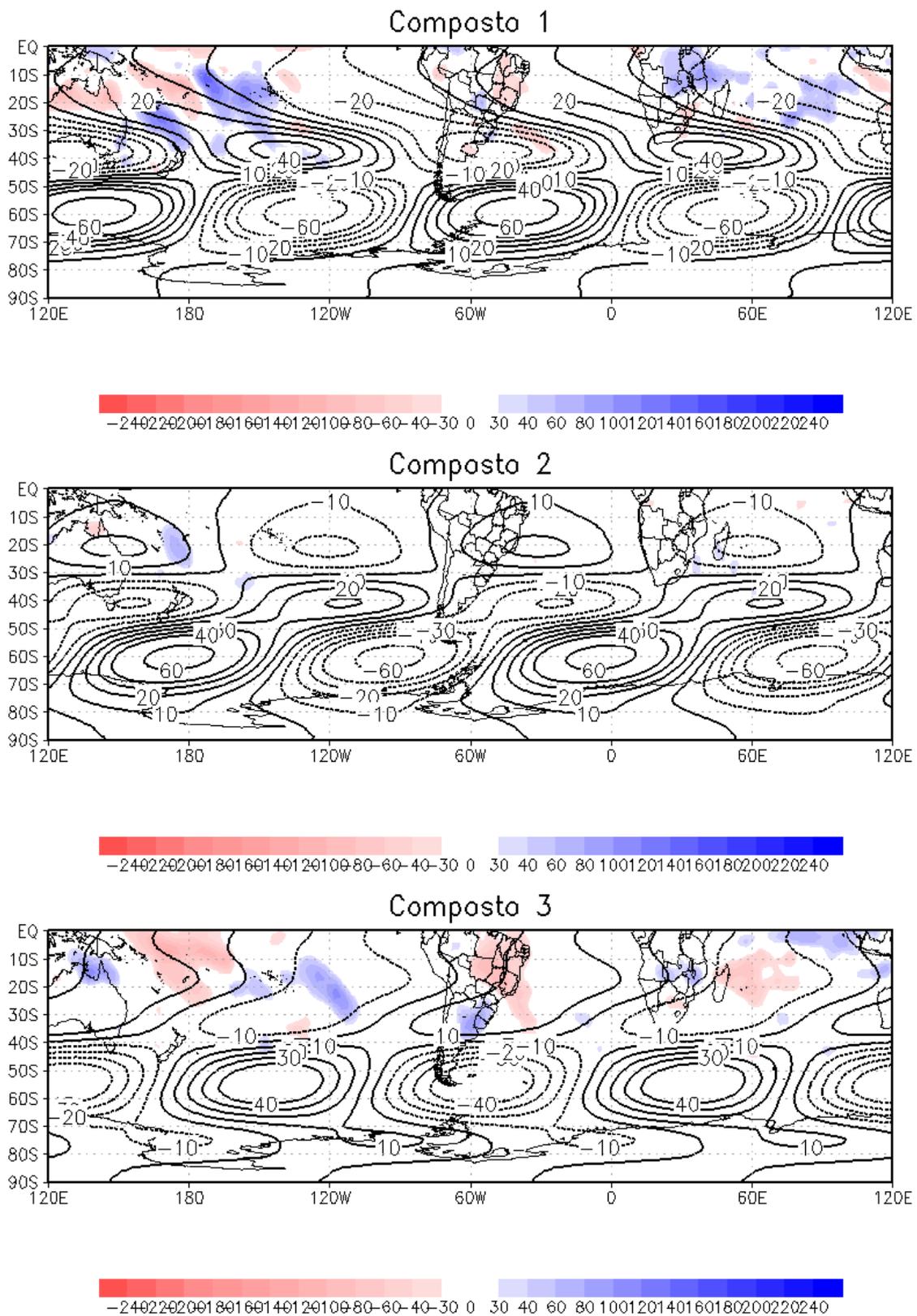


Figura 6.9 - Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.6.

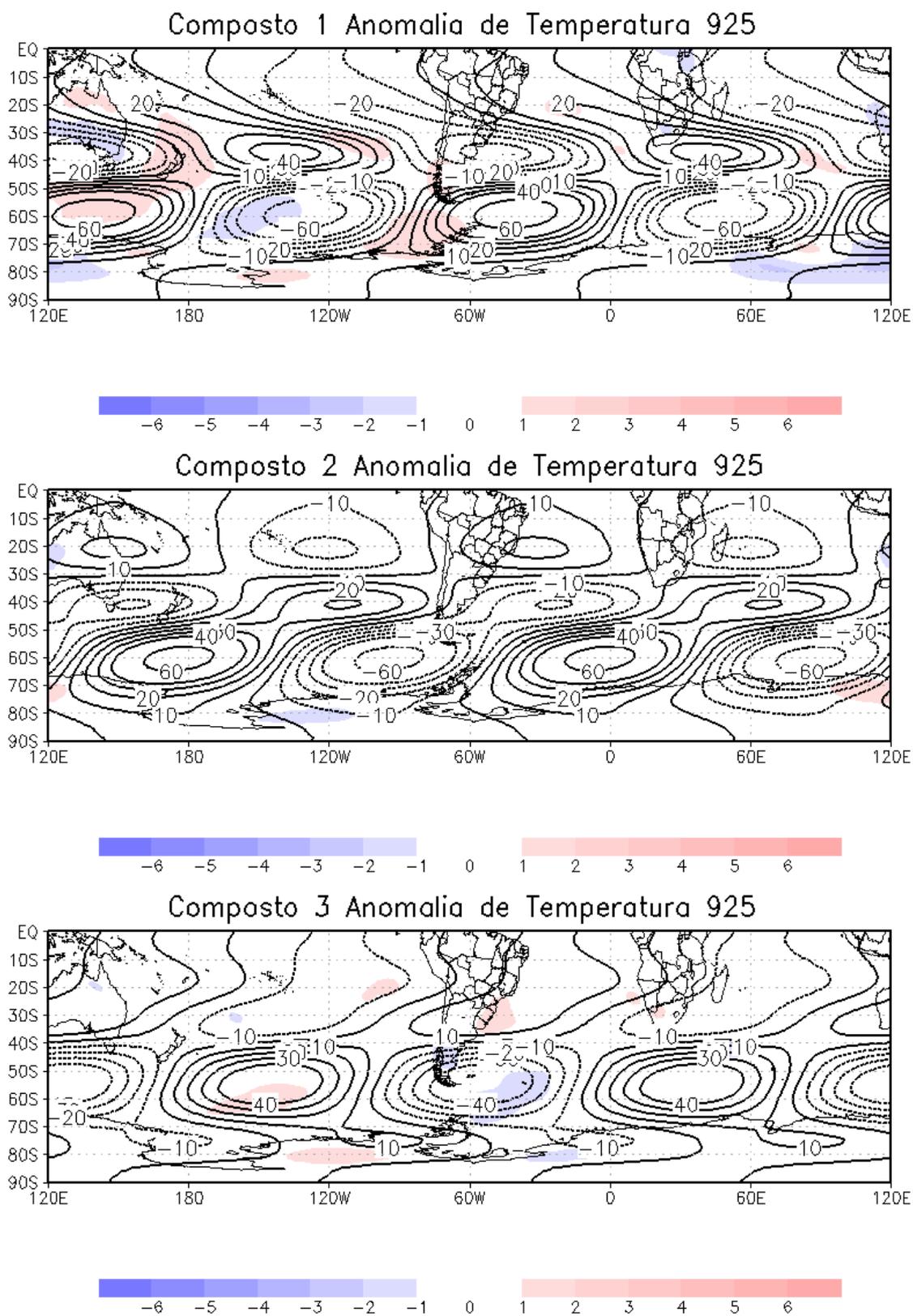


Figura 6.10 - Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias de temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.6.

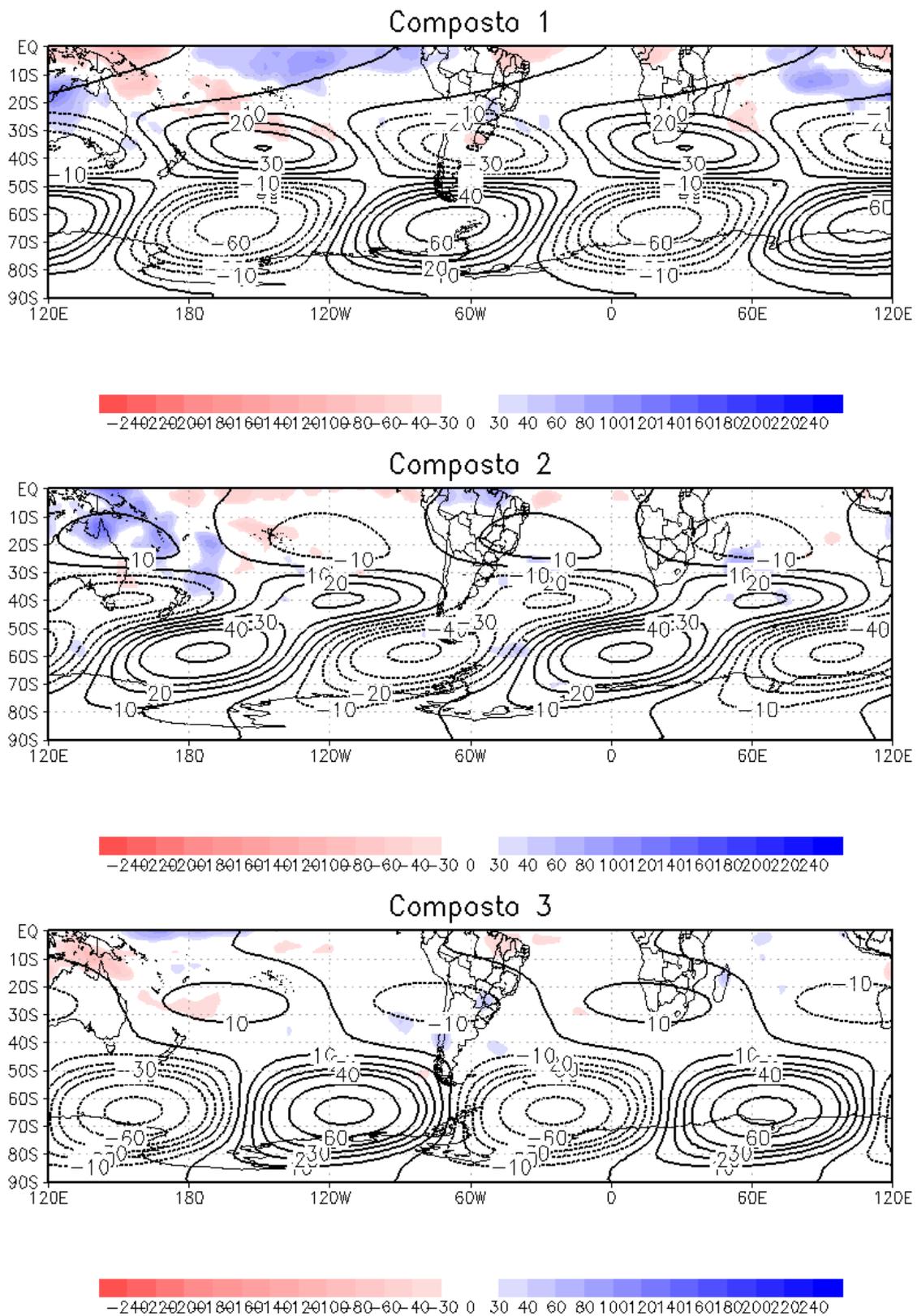


Figura 6.11 - Compostos para a OE 2 em 200hPa (mcp) para os meses de outono (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.6.

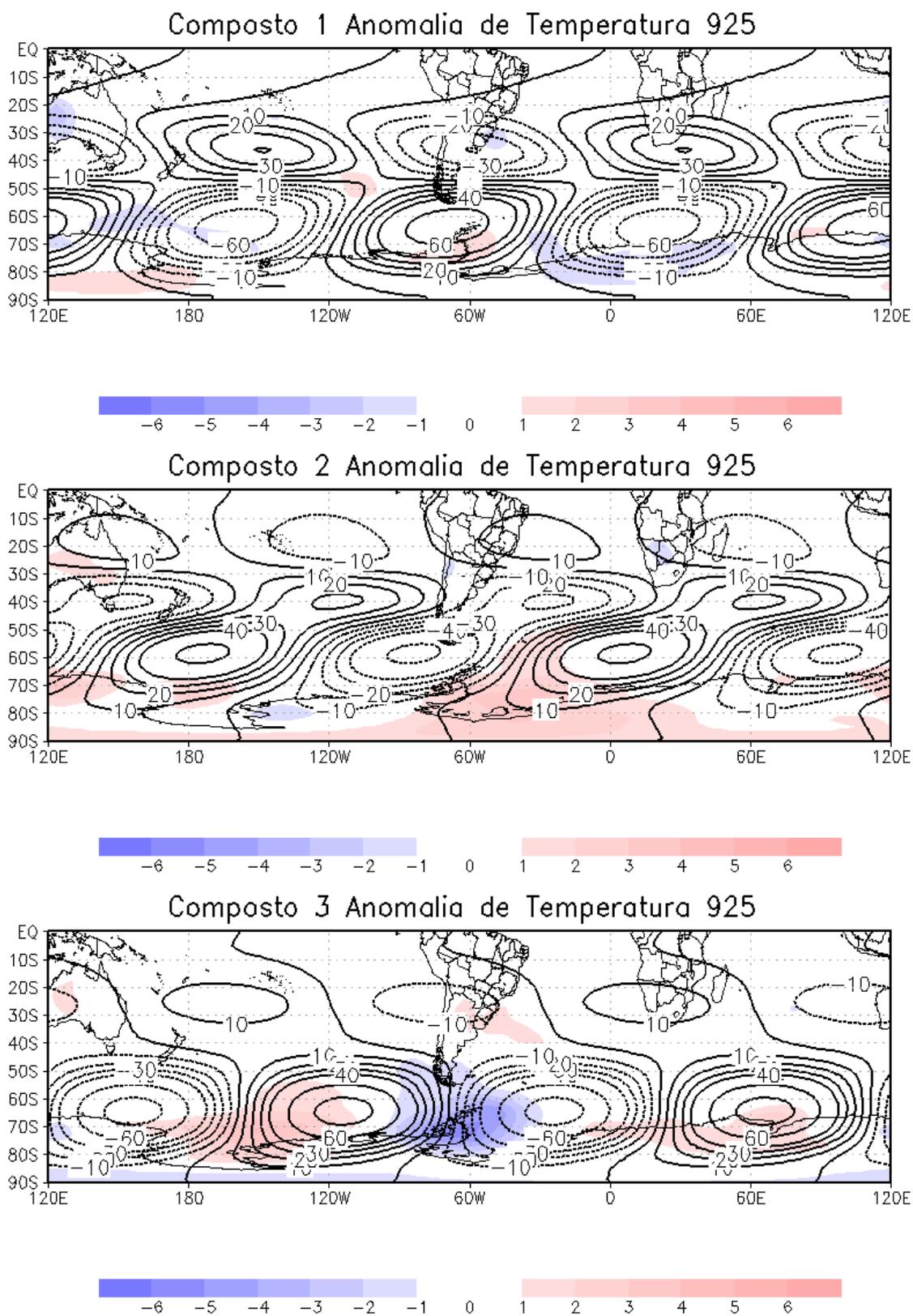


Figura 6.12 - Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de outono (linhas) e média das anomalias de temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.6.

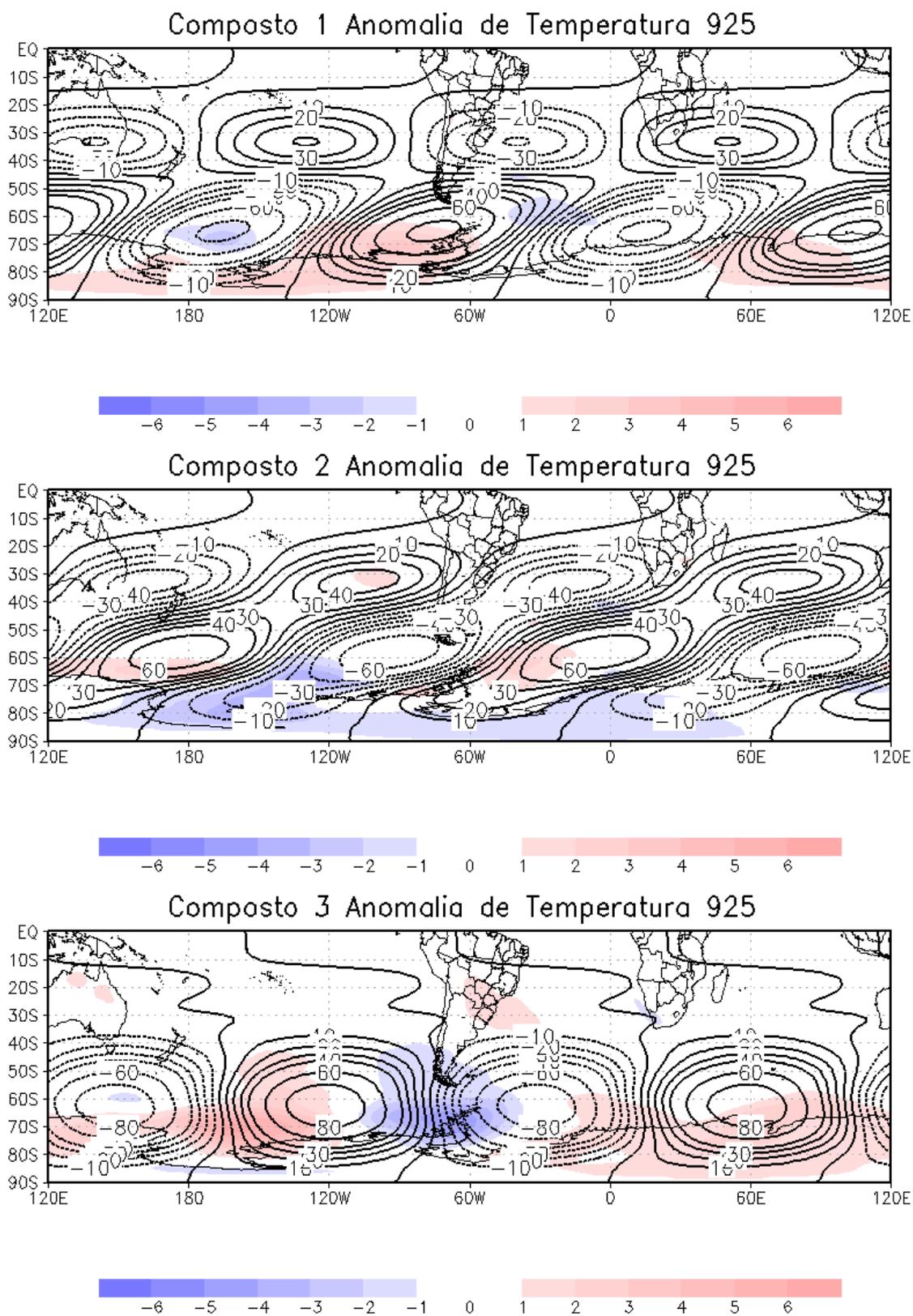


Figura 6.13 - Compostos para a OE 2 em 200hPa (mvp) para os meses de inverno (linhas) e média das anomalias de temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.6.

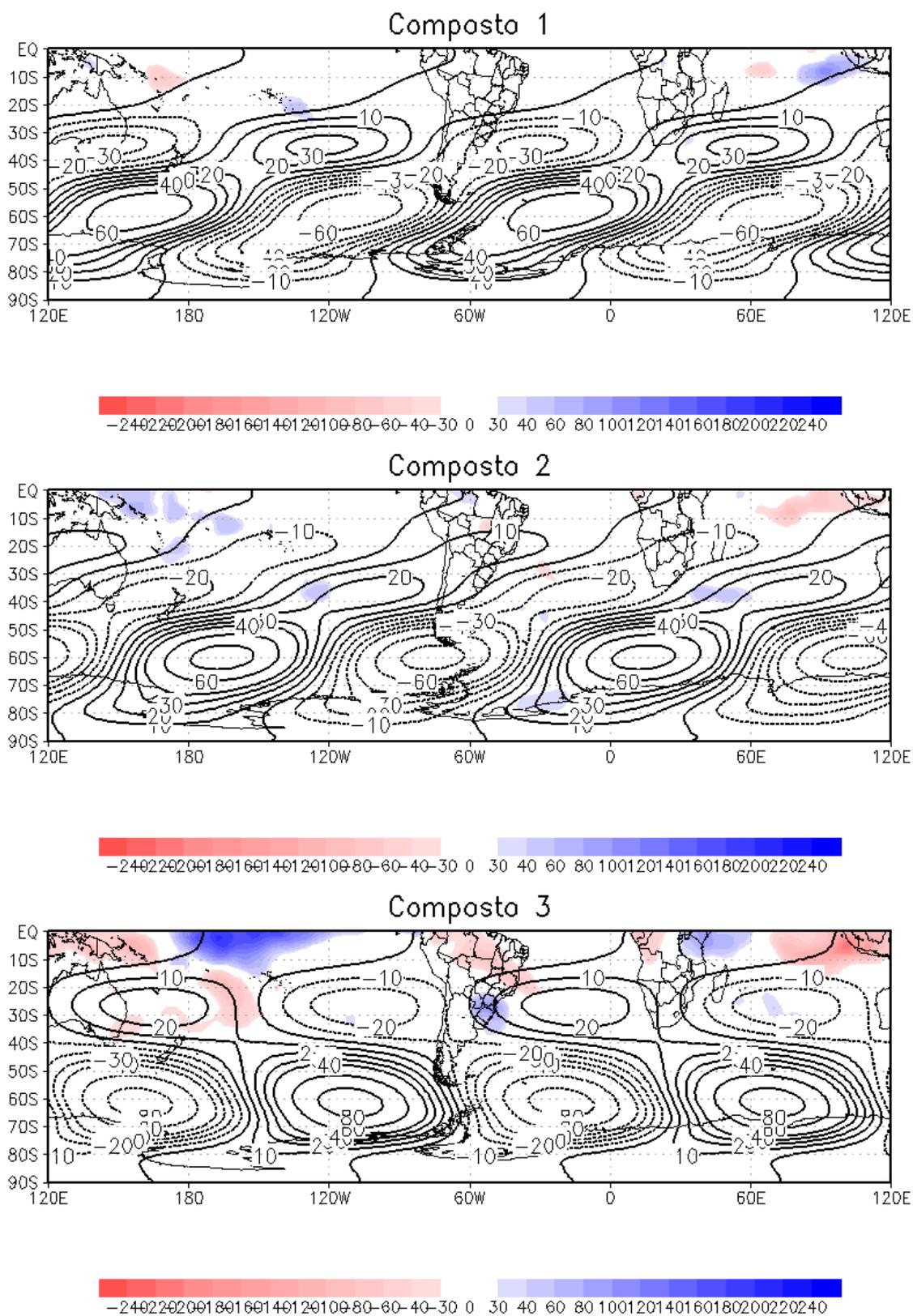


Figura 6.14 - Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de primavera (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.6.

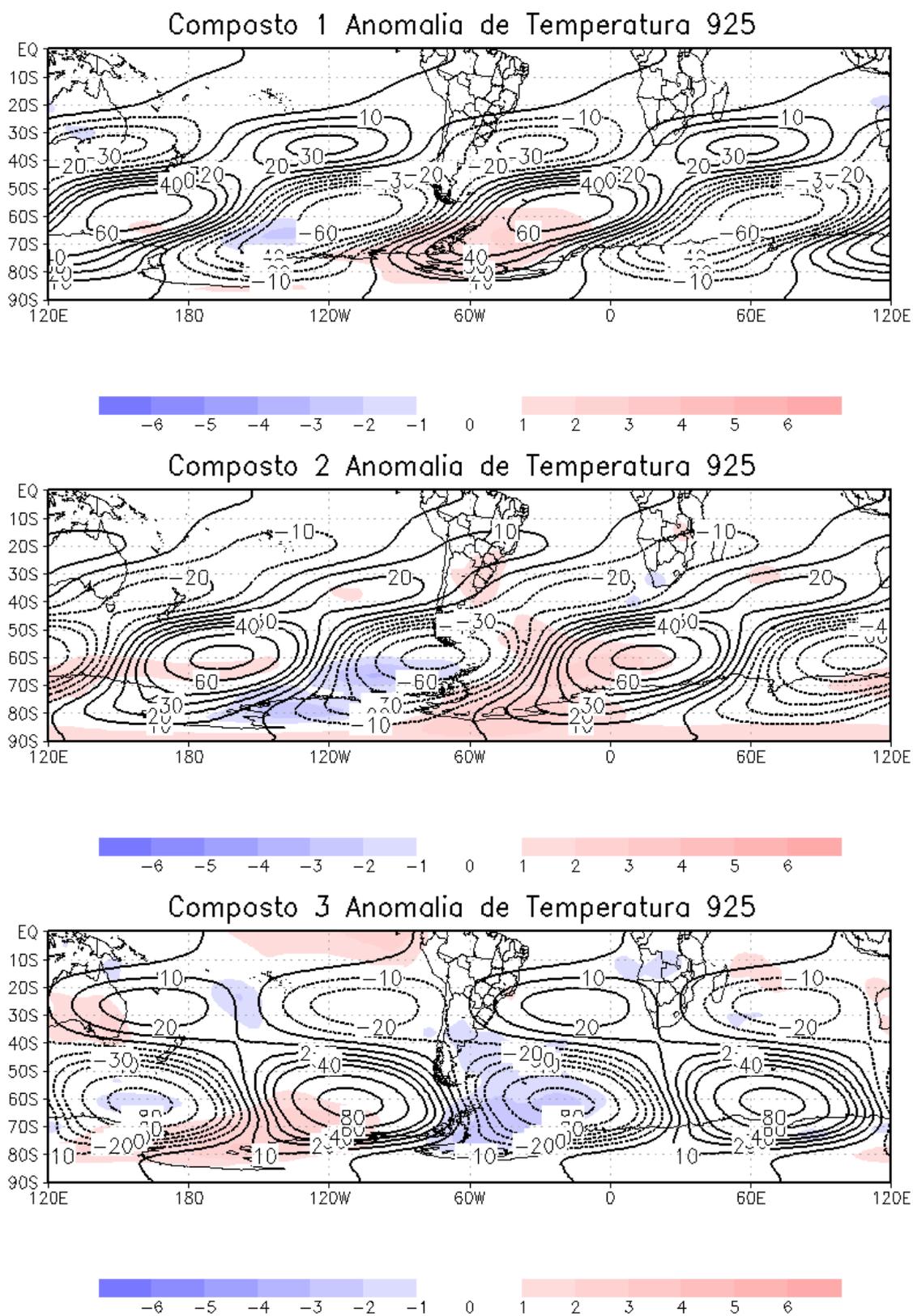


Figura 6.15 - Compostos para a OE 2 em 200hPa (mgp) para os meses de primavera (linhas) e média das anomalias de temperatura em 925 hPa para os meses do composto (°C), conforme Tabela 6.6.

### 6.3 Compostos da OE 3

A fase da onda 3 (Tabela 6.7) foi analisada nos casos de máxima amplitude (Tabela 6.3), onde foram separados em casos sazonais, e posteriormente foram agrupados do mesmo modo que para a onda 1 e 2. Os casos foram selecionados conforme os dados da tabela Tabela 6.7. Para a onda 3 foram separados em somente 2 casos, pois praticamente não há casos entre 30°W e 20°E.

Tabela 6.7 - Fase da OE 3 para os casos de amplitude máxima da tabela 6.3.

Verão	fase	Comp.	Outono	fase	Comp.	Inverno	fase	Comp.	Primavera	fase	Comp.
JAN 2002	-59	1	MAR 1991	-53	1	JUL 1990	-58	1	SEP 1996	-57	1
JAN 1992	-47	1	MAY 2006	-51	1	AUG 1989	-53	1	NOV 1987	-53	1
FEB 1980	-46	1	APR 1995	-43	1	AUG 2003	-53	1	SEP 1984	-49	1
FEB 1991	-46	1	APR 2006	-43	1	JUL 1995	-3,2	1	NOV 1999	-48	1
JAN 1997	-45	1	MAR 2004	-41	1	JUN 1991	25,5	2	NOV 1980	-0,2	1
JAN 2004	-39	1	APR 1990	13,6	2	JUL 2001	27,2	2	SEP 1994	-0,1	1
DEC 2001	-35	1	MAY 2002	18,7	2	AUG 2000	28	2	OCT 1982	12,7	2
DEC 2006	-34	1	APR 1988	28,4	2	JUL 1980	28,6	2	NOV 2000	26,9	2
JAN 1991	-31	1	MAY 1987	35,9	2	JUN 1979	30,4	2	SEP 1997	29,4	2
DEC 1990	2,62	2	APR 2001	38,2	2	JUN 1984	30,5	2	SEP 1993	36,4	2
DEC 2005	37,6	2	MAY 1983	39,6	2	JUN 1988	32,1	2	NOV 1985	37,1	2
FEB 1990	45	2	MAY 1998	40,5	2	AUG 1995	34,4	2	OCT 1999	37,4	2
DEC 1998	45,1	2	APR 2003	41,3	2	AUG 1999	36,5	2	OCT 1981	41,1	2
FEB 1993	55,6	2	MAR 1981	47,3	2	AUG 2006	41,1	2	OCT 1986	45,2	2
FEB 2004	56,8	2	MAR 1984	51,6	2	JUN 1982	45,1	2	OCT 1987	45,6	2
JAN 1999	57,6	2	MAY 1980	53,5	2	JUN 1985	47,4	2	OCT 2005	46	2
DEC 1980	58,1	2	MAR 2003	54,8	2	JUL 1993	50,2	2	SEP 2001	47,3	2
FEB 2005	59	2	MAR 1979	57,4	2	JUL 1981	53,6	2	NOV 1992	55,6	2

Os compostos de verão da OE 3 são mostrados na Figura 6.16. Neles podemos notar uma crista sobre o sul da AS no composto 2, que migra para o Atlântico no composto 1. Em latitudes baixas, são observados centros positivos (próximo aos continentes) e negativos (sobre os oceanos). Essa configuração foi discutida na climatologia como os padrões observados de verão, entre eles a Alta da Bolívia e o Cavado do Atlântico. No composto 1 ocorrem anomalias positivas de precipitação sobre todo o NE do Brasil, na região entre a Alta da Bolívia e o Cavado do Atlântico, que pode representar o vórtice ciclônico em Altos níveis, comum nessa época do ano. Já no composto 2 essas anomalias enfraquecem, ao mesmo tempo que a crista de latitudes médias se estabelece sobre o sul da América do Sul. Em termos de anomalias de temperatura não foi visto nenhum padrão de destaque (não mostrado).

No outono novamente o Composto 1 apresenta as anomalias de precipitação sobre o Nordeste e anomalias negativas na região sul do Brasil, condizente com casos de bloqueios descritos em Marques e Rao (1999). O composto 2 não apresentou destaque no campo anomalia de precipitação (Figura 6.17). No outono não foram

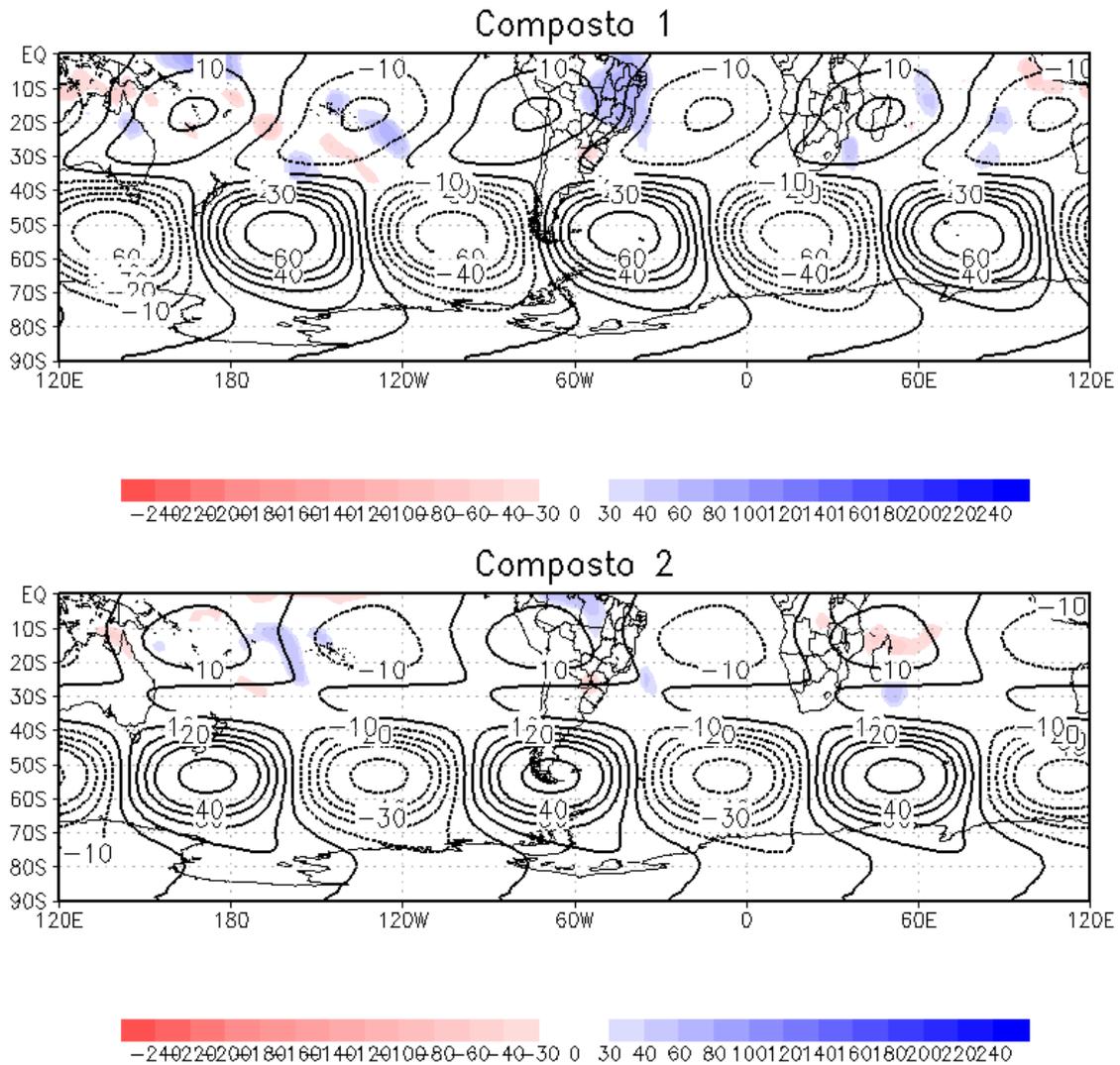


Figura 6.16 - Compostos para a OE 3 em 200hPa (mgp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.7.

observadas anomalias de temperatura que pudessem ser relacionadas à onda 3. Em nenhum dos compostos de inverno e primavera (não mostrados) foram observados padrões de anomalias de precipitação ou de temperatura anômalos, o que indica que a onda 3 anômala não interage muito com anomalias nas circulações de inverno e de primavera.

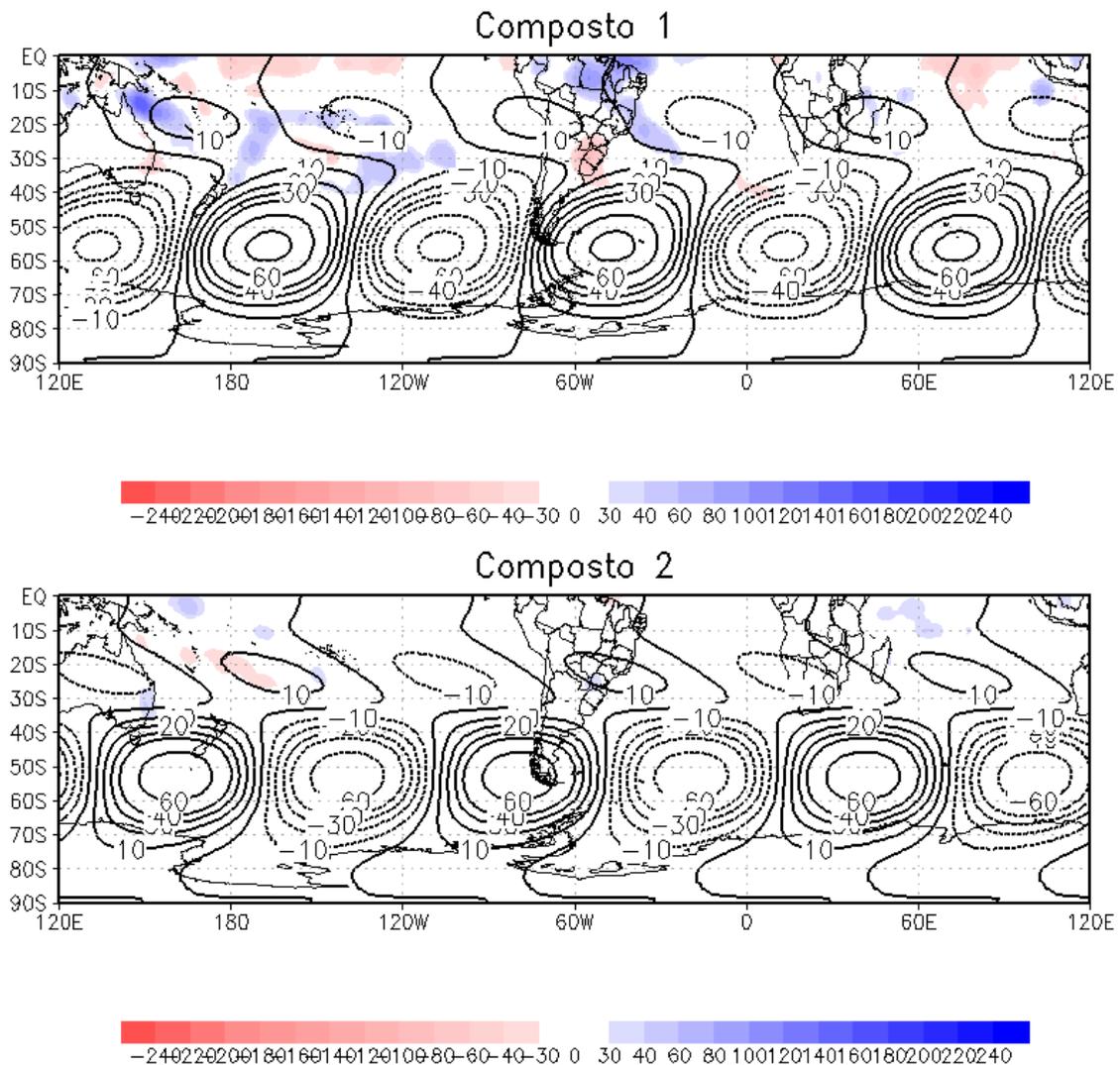


Figura 6.17 - Compostos para a OE 3 em 200hPa (m<sub>g</sub>p) para os meses de outono (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.7.

#### 6.4 Compostos da OE 4

A fase da onda 4 foi analisada nos casos de máxima amplitude (Tabela 6.4), onde foram separados em casos sazonais, e posteriormente foram agrupados do mesmo modo que para a onda 1, 2 e 3. Os casos foram selecionados conforme os dados da (Tabela 6.8).

A OE 4 apresenta padrões de anomalias de precipitação somente no verão (Figura 6.18). O composto 1 apresenta anomalia positiva de precipitação no sul do Brasil, a leste do cavado da onda 4, e anomalia negativa a leste da crista, sobre a

Tabela 6.8 - Fase da OE 4 para os casos de amplitude máxima da tabela 6.4.

Verão	fase	Comp.	Outono	fase	Comp.	Inverno	fase	Comp.	Primavera	fase	Comp.
DEC 1989	-41	1	MAY 2001	-42	1	AUG 2002	-40	1	SEP 1983	-43	1
FEB 1992	-39	1	MAY 2005	-41	1	AUG 1995	-37	1	OCT 1984	-38	1
JAN 1997	-35	1	APR 2002	-39	1	JUN 1992	-35	1	OCT 2006	-38	1
JAN 2001	-35	1	MAY 2002	-37	1	AUG 2001	-35	1	OCT 2002	-35	1
FEB 2000	-29	1	APR 1992	-35	1	JUN 1982	-30	1	OCT 2005	-35	1
JAN 1998	-25	1	MAY 1980	-35	1	JUL 1995	-30	1	NOV 2002	-24	1
FEB 1983	-25	1	APR 1993	-32	1	JUL 1987	-29	1	SEP 2001	-15	2
FEB 1997	-25	1	MAR 2006	-31	1	JUN 1997	-28	1	SEP 2000	-14	2
JAN 1996	-18	1	APR 1985	-31	1	JUN 1990	-9,1	1	SEP 1998	-13	2
FEB 1982	-16	1	APR 1987	-30	1	JUN 1993	25,5	2	NOV 1988	-2	2
JAN 1988	-14	1	MAY 1984	-26	1	JUL 2005	26,9	2	NOV 1992	5,96	2
JAN 2005	-8,9	2	MAY 1992	-26	1	JUN 1985	28,8	2	OCT 1983	25,9	3
DEC 2005	-5,4	2	MAR 1986	-25	1	JUL 1999	37,1	2	NOV 1985	30,5	3
DEC 1988	-4	2	APR 1980	-21	1	AUG 1996	40	2	NOV 1999	30,5	3
FEB 1998	3,68	2	MAR 1981	-0,3	2	JUL 1981	41,8	2	OCT 1991	36,5	3
DEC 1979	17,9	3	MAR 1995	9,38	2	AUG 1999	42,6	2	SEP 1994	38,7	3
DEC 1995	17,9	3	MAR 1988	34,2	2	JUL 2006	42,7	2	NOV 2000	41,5	3
DEC 2004	43,1	3	MAR 1992	43,4	2	AUG 1989	44,9	2	SEP 1985	43	3

parte oceânica da ZCAS. No composto 2, que apresenta um deslocamento dos centros para leste, as anomalias positivas de precipitação se deslocam para o centro do Brasil. No composto 3, que possui os centros das latitudes médias e baixas alinhados, não são notadas anomalias de precipitação associadas.

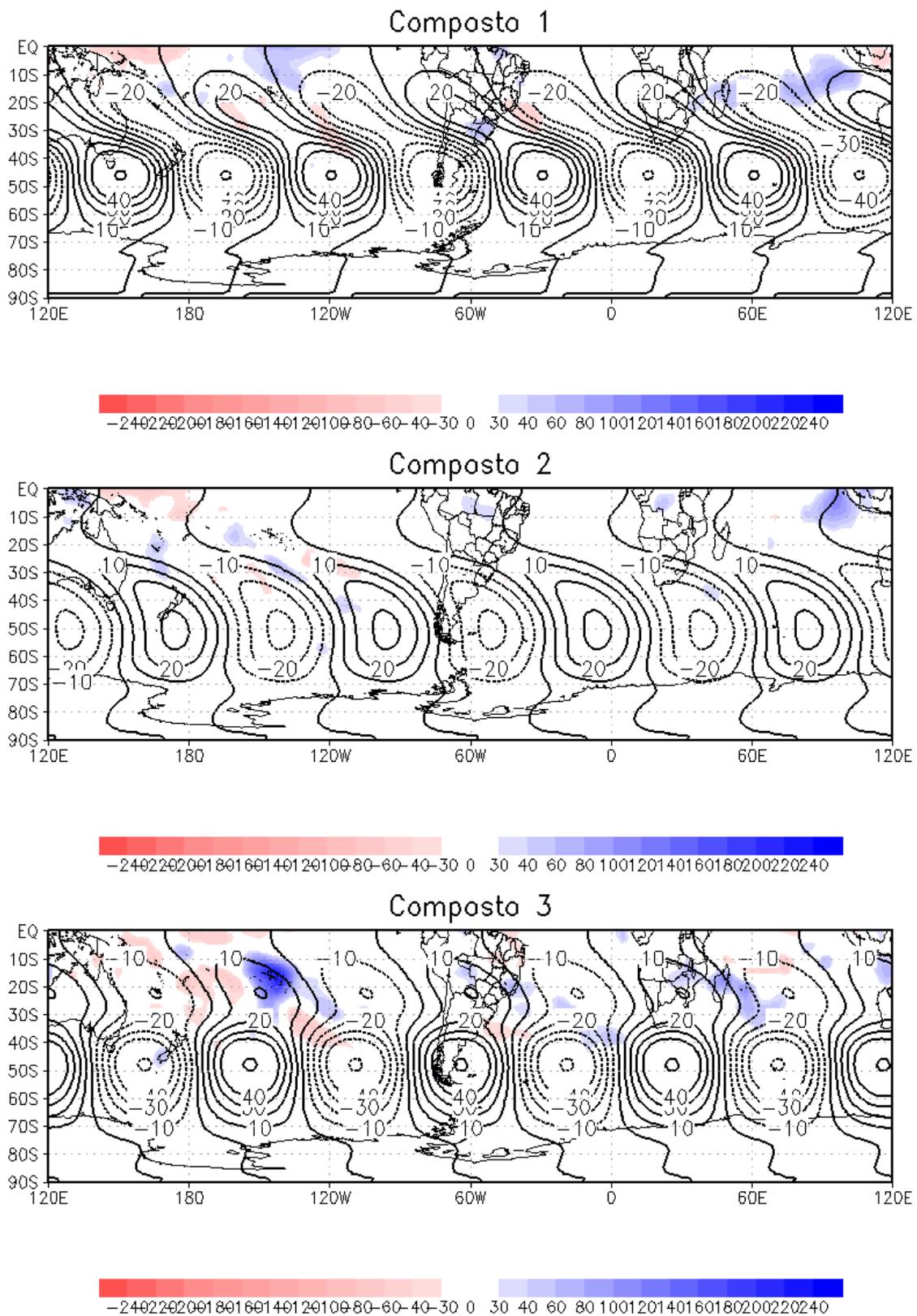


Figura 6.18 - Compostos para a OE 4 em 200hPa(mgp) para os meses de verão (linhas) e média das anomalias de precipitação para os meses do composto (mm/mês), conforme Tabela 6.8.

## 6.5 Casos Extremos de Fases Opostas da OE 4 e Relação com a Precipitação sobre a AS

Nas análises anteriores (Capítulos 4 e 5) foi visto que a onda 4 tem maiores amplitudes e maior variabilidade nas latitudes mais baixas nos meses de verão. A variabilidade indicada sobre a América do Sul pode representar tanto uma crista quanto um cavado anômalo, dependendo do sinal da amplitude, na série temporal. Assim, foram identificados para esses meses, os anos com amplitudes extremas (positivas e negativas), em Dezembro e Janeiro (os quais mostram variabilidade da onda 4 sobre a América do Sul).

Em Dezembro foram identificados os anos de 2004 (-) e 2005 (+) e em Janeiro, os anos de 1994 (+) e 2001 (-) (baseados nas amplitudes dos coeficientes do primeiro modo de variabilidade, não mostrados). As Figuras 6.19 e 6.20 mostram as anomalias de geopotencial em 200 hPa e anomalias de precipitação, para os extremos da onda 4 nos meses citados.

Em Dezembro de 2004 e Dezembro de 2005 há uma configuração de onda 4 bem evidente, com sinais opostos (Figura 6.19). Dos dois lados do sul da América do Sul há dois centros que se invertem de um ano para outro, porém, em 2004 o centro sobre o Atlântico Sudoeste é bem menor do que em 2005 e o centro negativo sobre o Pacífico sudoeste se estende sobre o sul da América do Sul. Assim, a ação da onda 4 sobre a América do Sul não foi evidente durante esse mês/ano. Entretanto, em Dezembro de 2005, com o par crista/cavado, da onda 4, ao redor do sul da América do Sul, as anomalias de precipitação foram bem típicas da ocorrência da ZCAS, configurando o dipolo Sudeste-Sul: anomalias positivas na região da ZCAS e anomalias negativas ao sul. A posição do cavado da onda 4 é consistente com a ocorrência de precipitação ao norte, e a posição da crista, consistente com o déficit de chuva no sul.

Situação semelhante ocorre em Janeiro de 1994 (Figura 6.20) associada à onda 4. Em Janeiro de 2001, as fases se invertem, e observa-se um par cavado/crista da onda 4 ao redor do sul da América do Sul. Neste caso, o padrão de precipitação sobre a América do Sul também se inverte, resultando em anomalias positivas sobre o sul e negativas sobre a região da ZCAS. O caso de janeiro de 2001 culminou com a crise energética no Brasil e foi estudado por Drumond e Ambrizzi (2005), eles perceberam que uma circulação anômala anticiclônica foi observada sobre o leste do Brasil, desviando o transporte de umidade que normalmente é da Amazônia para o sudeste e inibiu a ocorrência de eventos de ZCAS neste período. Portanto a anomalia na OE 4 para

esse mês tem forte relação com as anomalias de precipitação observadas sobre a AS.

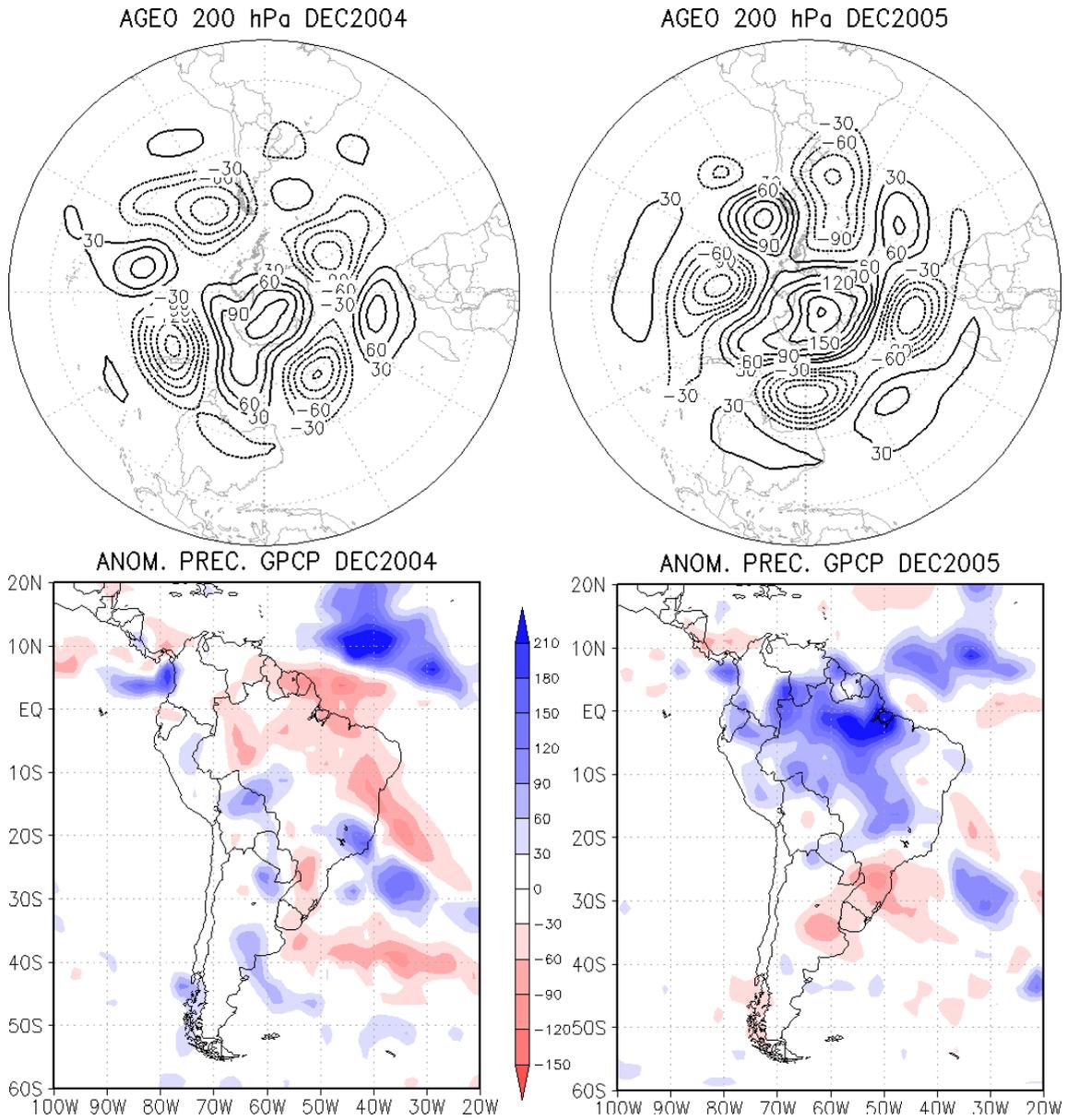


Figura 6.19 - Anomalia de geopotencial (mgp) em 200 hPa para os meses Dezembro 2004 e Dezembro 2005 e anomalia de precipitação (mm/mês).

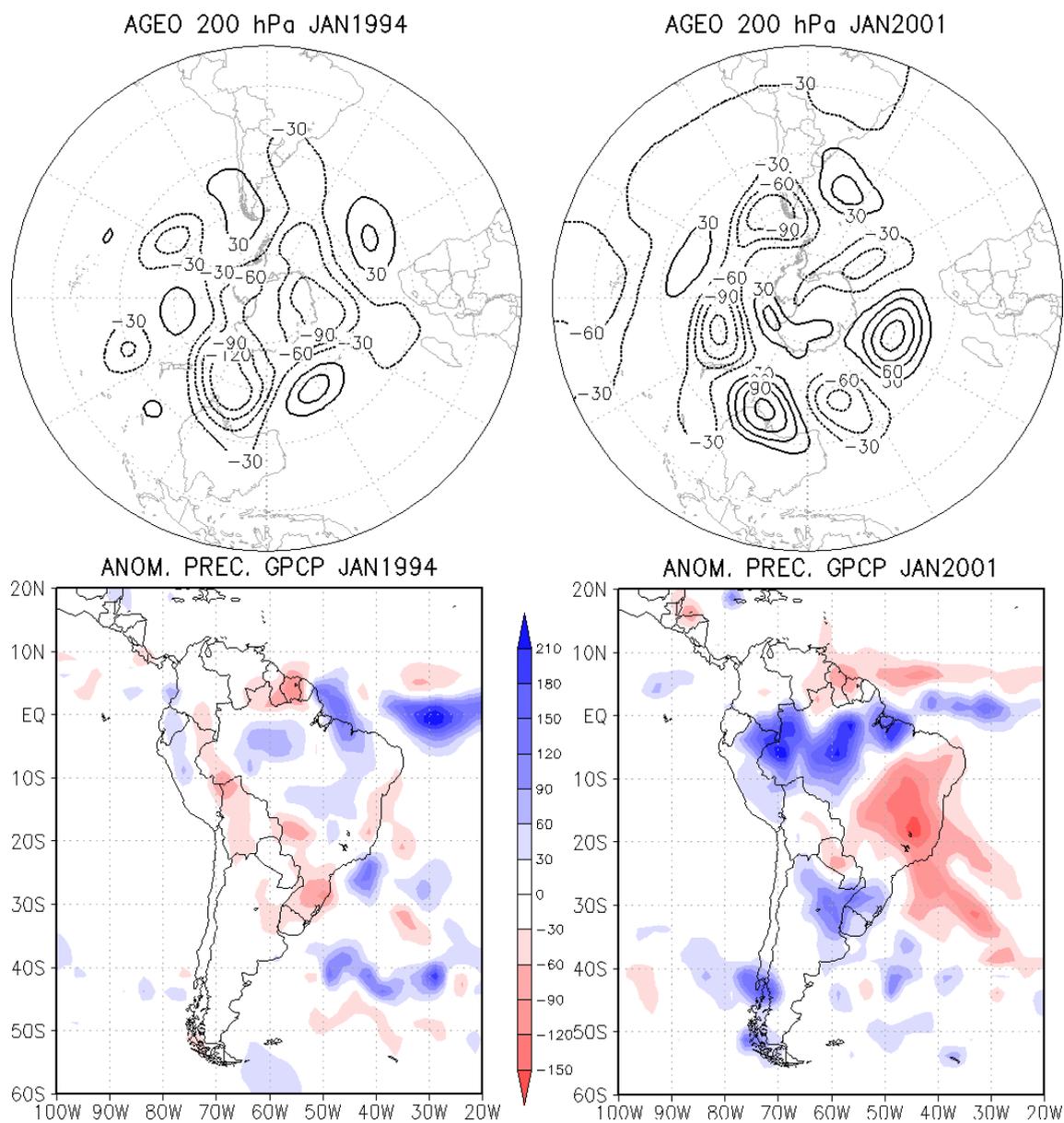


Figura 6.20 - Anomalia de geopotencial (m<sub>g</sub>p) em 200 hPa para os meses Janeiro 1994 e Janeiro 2001 e anomalia de precipitação (mm/mês).

## 6.6 Caso de fevereiro de 2005

Fevereiro de 2005 culminou com uma grande seca sobre o sul e parte do sudeste do Brasil. Geralmente a precipitação nessa região é bem distribuída, porém em fevereiro de 2005 praticamente não choveu. Nesse item são estudados os aspectos quase-estacionários ocorridas nesse mês e que tiveram impacto em grande área, prejudicando a população e causando grande prejuízo (DEFESA CIVIL RIO GRANDE DO SUL, 2010).

Grandes anomalias negativas de precipitação foram observados sobre o centro e sul do Brasil, enquanto anomalias positivas ocorreram ao longo leste do Brasil, estendendo-se para o Oceano Atlântico em fevereiro de 2005 (Figura 6.21a). Esta configuração, de uma ZCAS deslocada para norte, exibe uma configuração de dipolo nas anomalias de precipitação, que acompanham o sistema (CUNNINGHAM; CAVALCANTI, 2006). As anomalias de PNM, mostram um centro positivo mais intenso sobre o sudoeste do Atlântico, relacionado à circulação anticiclônica anômala de bloqueio (Figura 6.21b). Anomalias negativas de PNM foram identificadas na região oceânica da ZCAS onde o movimento ascendente ocorreu em uma banda de NW-SE, consistente com o excesso de precipitação nessa área, enquanto a subsidência inibiu a convecção sobre o sul do Brasil (Figura 6.21c).

Anomalias no fluxo de umidade integrado verticalmente em uma configuração ciclônica foram dominantes sobre o leste da AS (Figura 6.21d), oposta a uma configuração climatológica em que o fluxo de umidade do Atlântico e da Amazônia mantém a precipitação no sul e sudeste do Brasil nos meses de verão (VERA et al., 2006; RAIÁ; CAVALCANTI, 2008). Durante fevereiro de 2005, o fluxo de umidade anômalo de sul para norte, no sudeste e centro do Brasil indicam menos umidade nessas regiões. Herdies et al. (2002) discutiram a influência do fluxo de umidade em direção sudeste ou sul do Brasil associado com a ocorrência de um regime ZCAS e um regime sem-ZCAS. Drumond e Ambrizzi (2008) também mostraram que o fluxo de umidade anômalo está associado com anomalias na posição da ZCAS. Neste caso, as anomalias de fluxo de umidade são associadas com uma ZCAS deslocada para o norte e condições secas no sul do Brasil.

O campo de anomalia de geopotencial mostrou uma crista anômala sobre o extremo sul da América do Sul, e dois cavados no norte, sobre as costas leste e oeste do continente (Figura 6.22a). Esta configuração reflete os episódios de bloqueio que ocorreram neste mês sobre o Pacífico Sudeste e Atlântico sul.

Durante os dias 13-22 (Figura 6.22b) ocorreu uma situação de bloqueio sobre o Oceano Atlântico. Para este caso, documentado em (BOLETIM CLIMANÁLISE, 2005), as consequências foram uma redução da frequência de sistemas frontais em todo Brasil, bem como um deslocamento da ZCAS para norte. As frentes fracas se moveram rapidamente do sul em direção ao sudeste pela costa Sul Americana e foram intensificadas mais ao norte pela umidade da região tropical, resultando em uma intensificação da ZCAS ao norte da posição climatológica.

Durante os dias 23-28 outro episódio de bloqueio ocorreu sobre o Oceano Pacífico

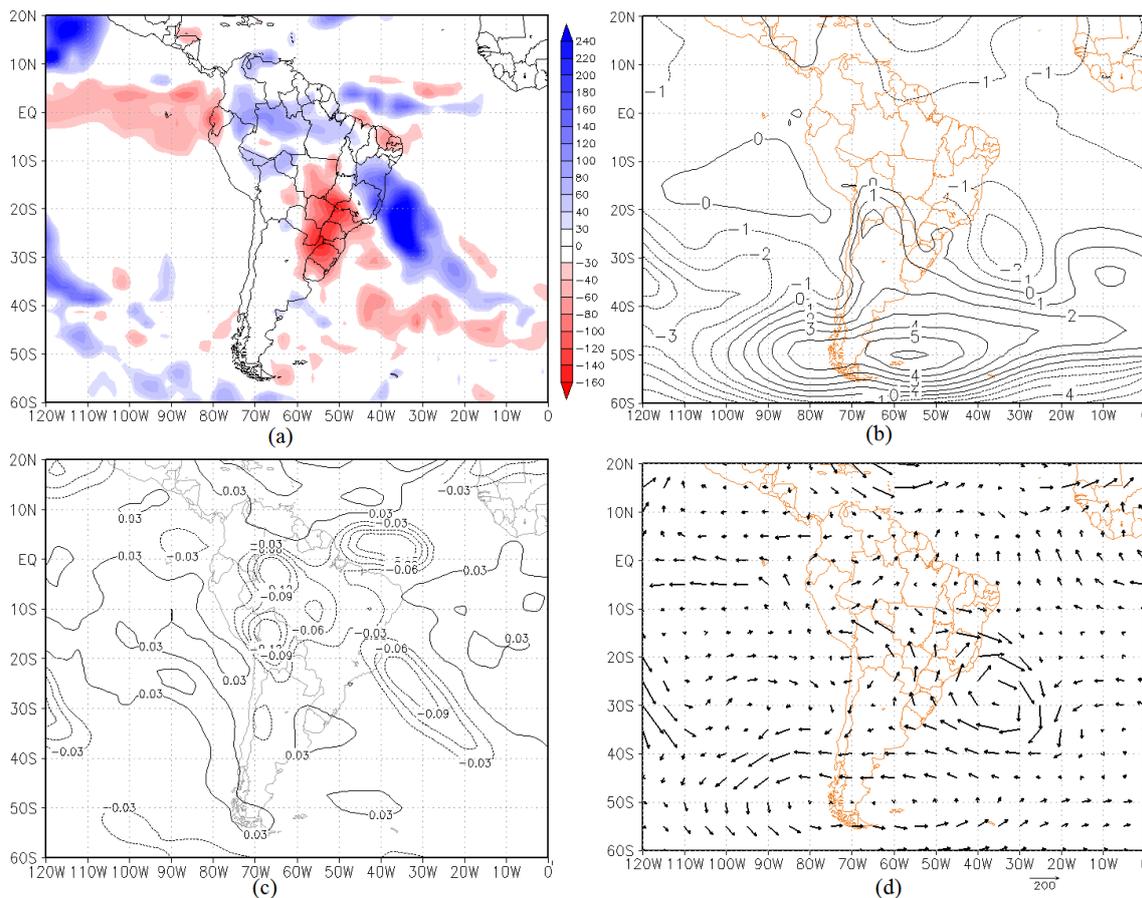


Figura 6.21 - Campos para o mês de fevereiro de 2005 (a) anomalia de precipitação (mm), (b) anomalia de pressão PNM (hPa), (c) anomalia de omega em 500 hPa (Pa/s) e (d) anomalia do fluxo de umidade integrado verticalmente (Kg/m.s).

Sudeste. Os bloqueios sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico são identificados nas anomalias zonais de geopotencial, que mostram um cavado (baixas latitudes) e uma crista (em altas latitudes) na mesma longitude (Figura 6.22b, c). Em ambos os períodos havia uma crista anômala sobre o centro da América do Sul e cavados ao longo do Pacífico Sul e Atlântico Sul próximo à AS. Condições secas para o Nordeste e região central do Brasil no verão foram associados com a ocorrência de bloqueio no sudeste do Pacífico por Mendes et al. (2008).

As amplitudes das ondas 1 a 10 (climatologia e Fevereiro de 2005) são mostradas na Figura 6.23. A OE 1 é dominante em 30° S, 45° S, 60° S, seguido pela OE 4 em 30° S e OE 3 em 45° S e 60° S. O domínio das OEs 1 e 3 no HS foi mencionado em estudos anteriores, tais como Trenberth (1980) e citeonlinevanLoon1972. A amplitude da OE 3 em 60° S é maior em fevereiro de 2005, comparada à climatologia. Em 45° S a OE 3 também tem amplitude maior do que a climatologia em fevereiro de 2005. Em 30°

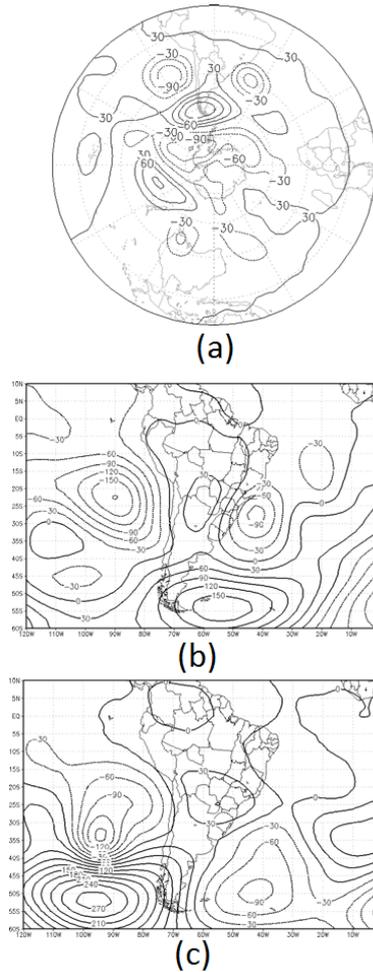


Figura 6.22 - (a) anomalia de geopotencial em 200 hPa no HS, (b) anomalia zonal de geopotencial durante os dias 13 a 22 de fevereiro de 2005 e (c) anomalia zonal de geopotencial durante os dias 23 a 28 de fevereiro de 2005 (m<sub>g</sub>p)

S as OE 6 e 8, que têm amplitudes muito pequenas climatologicamente, aparecem bem amplificadas em fevereiro de 2005. Na comparação com fevereiro de outros anos, durante o período de 1979 a 2006, as amplitudes dessas ondas em fevereiro de 2005 apresentaram valores máximos (Figura 6.24a, b, c).

A predominância da OE 3 é identificada em altas latitudes na Figura 6.21d, o que é consistente com a amplificação desta onda em Fevereiro, conforme mostrado na Figura 6.23. Uma relação entre bloqueios e a OE 3 foi discutido por Trenberth e Mo (1985) e uma relação entre a precipitação sobre a América do Sul e bloqueios foi mencionada em Cavalcanti (2000). A OE 3 em latitudes extratropicais em fevereiro de 2005 é muito amplificadas (Figura 6.25) em comparação com a climatologia (Figura 4.8 e Figura 4.13 da climatologia). Esta OE teve uma amplitude mais do que

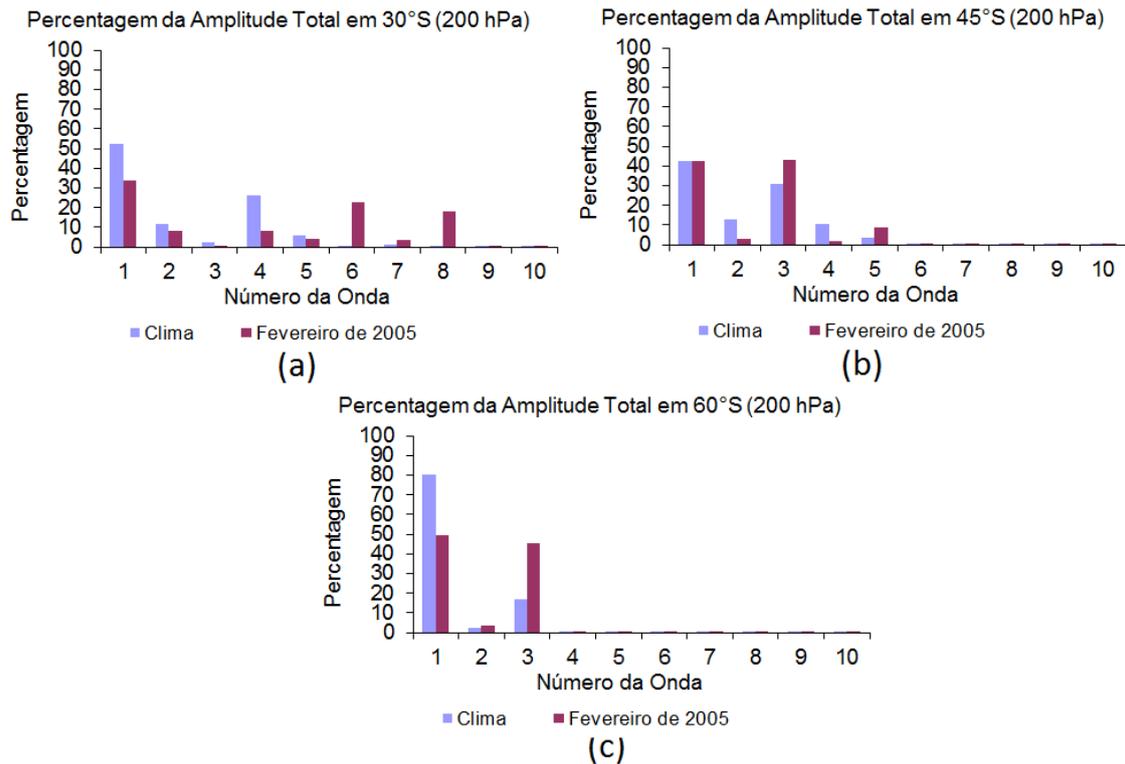


Figura 6.23 - Percentagem de amplitude total da anomalia zonal de geopotencial para cada as OE 1 a 10 em Fevereiro de 2005 e climático (mgp).

duas vezes maior do que a amplitude climatológica entre 40° S e 70° S. Comparando a Figura 6.25b com a Figura 6.21b podemos reconhecer a influência da OE 3 no campo total e na crista persistente ao longo do extremo sul da AS.

As OE 6 e 8, que tiveram grandes amplitudes em Fevereiro em comparação com a climatologia (Figura 6.23) em 30 ° S, têm as cristas localizadas no Norte da Argentina, centro e sul do Brasil, Uruguai e Paraguai (Figura 6.26). Estas são regiões ciclogênicas (GAN; RAO, 1991) e também as regiões com maior frequência de sistemas convectivos de mesoescala, principalmente no verão (VELASCO; FRITSCH, 1987). A influência das cristas combinadas das OEs 6 e 8 sobre a região favoreceram a subsidência e a estabilidade atmosférica, reduzindo a intensidade de sistemas sinóticos e de mesoescala e contribuindo assim para as anomalias negativas de precipitação.

Kalnay et al. (1986) observaram OEs de pequena escala em baixas latitudes no Hemisfério Sul, com impactos sobre a América do Sul. Eles investigaram a origem dessas ondas e encontraram que elas têm relação com o aquecimento tropical e também têm uma contribuição da convecção em sua manutenção. A ocorrência de bloqueios sobre o sudeste do Pacífico foi relacionada com o aquecimento tropical

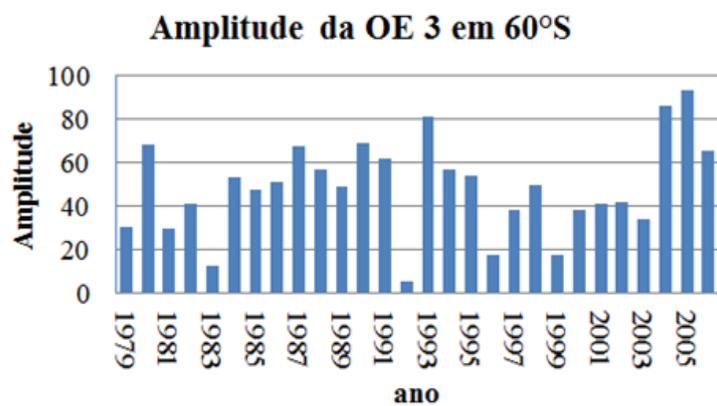
por [Renwick e Revell \(1999\)](#). Eles identificaram um trem de ondas de Rossby forçada pela convecção tropical que teve influência em um bloqueio no sudoeste da AS. Eles também encontraram que o número de onda decresce de 8 em 20°S para 2 em 55°S. Portanto, a presença de OEs 6 e 8 anômalas sobre a AS é consistente com uma forçante devida ao aquecimento tropical. A relação de OEs forçadas pelo aquecimento tropical e bloqueios, durante 1997/1998, foi discutida por [Rao et al. \(2002a\)](#).

Para investigar as relações das anomalias tropicais com as OEs e bloqueios em fevereiro de 2005, anomalias nas TSM, vento em 200 hPa e ROL, foram analisadas. Anomalias positivas de TSM ocorreram no Pacífico Equatorial, no oeste da Indonésia/oceano Índico e também em latitudes médias do Pacífico Sul (Figura 6.27). Um trem de onda tipo PSA em direção à AS foram descritos em [Drumond e Ambrizzi \(2008\)](#), onde observaram que anomalias de TSM no Oceano Índico e no oeste do Pacífico geraram um trem de onda que foi relacionado com anomalias negativas de precipitação na parte central do Brasil.

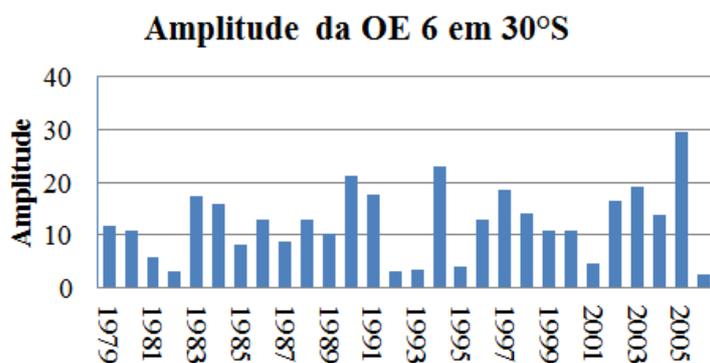
Fortes anomalias positivas de ROL sobre a Indonésia indicam convecção abaixo da média sobre esta região, e anomalias negativas de ROL sobre o Pacífico tropical ocidental estendendo para sudeste indicam convecção forte na Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) (Figura 6.27b). Conexões de SPCZ forte e ZCAS com a presença de OEs de pequena-escala também foram encontrados por [Kalnay et al. \(1986\)](#). Na Figura 6.27c trens de onda de regiões tropicais estão relacionados com a circulação anômala em torno da América do Sul. Nas linhas de corrente anômala (Figura 6.27c) também é possível identificar a OE 6 em latitudes subtropicais e número de onda três em altas latitudes.

Em Fevereiro de 2005, anomalias extratropicais e subtropicais no HS associadas a OEs forneceram condições desfavoráveis para precipitação no sul do Brasil, onde uma grave seca ocorreu. Por outro lado, a ZCAS foi deslocada para o norte, onde deslizamentos de terra e inundações ocorreram associadas com chuvas persistentes. As condições de bloqueio em dois episódios durante o mês, propiciaram uma redução das influências dos sistemas sinóticos e de mesoescala sobre o sul do Brasil, apresentando uma forte contribuição do número de onda de três, que intensificou a alta de bloqueio. A atuação de episódios de bloqueio sobre o Atlântico Sul e Pacífico Sudeste em diferentes períodos refletiram nas anomalias mensais de precipitação. Além disso, houve uma influência de números de onda seis e oito sobre o continente, proporcionando subsidência sobre a região. Estas características contribuíram também para

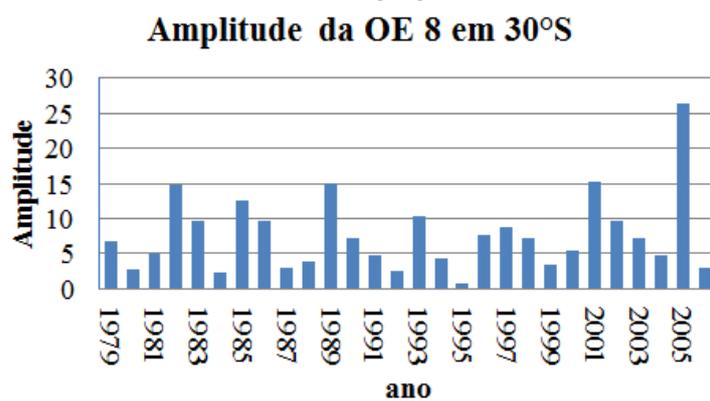
o deslocamento da ZCAS para o norte de sua posição normal, favorecendo chuvas persistentes e inundações na região. As anomalias OEs 3, 6 e 8 foram provavelmente forçadas pela convecção tropical no Pacífico e Indonésia, a qual intensificou essas OEs e favoreceram a configuração de bloqueio próximo à América do Sul. A grande amplitude da OE 3 intensificou as altas de bloqueio, e as grandes amplitudes das OE 6 e 8 aumentaram a subsidência e a alta pressão sobre centro-sul da AS que tiveram uma importante influência sobre as condições de seca sobre essas regiões.



(a)



(b)



(c)

Figura 6.24 - Variabilidade interanual da amplitude (a) OE 3 em 60°S, (b) OE 6 em 3°S e (c) OE 8 em 30°S (mgp)

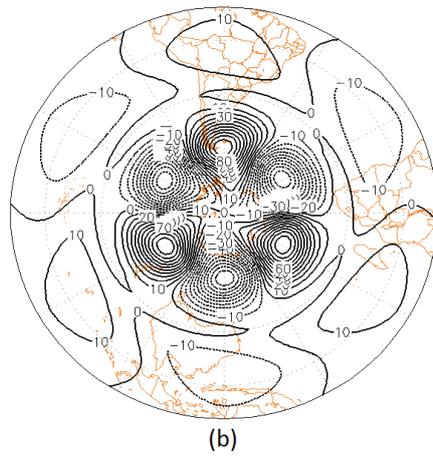
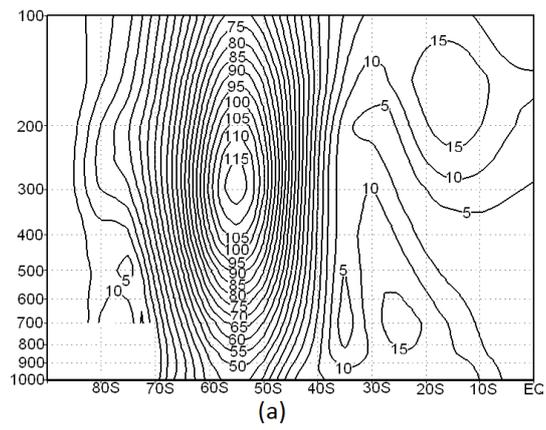


Figura 6.25 - Estrutura vertical da OE 3 em fevereiro de 2005 (a), OE 3 em 200 hPa (b) (mgp).

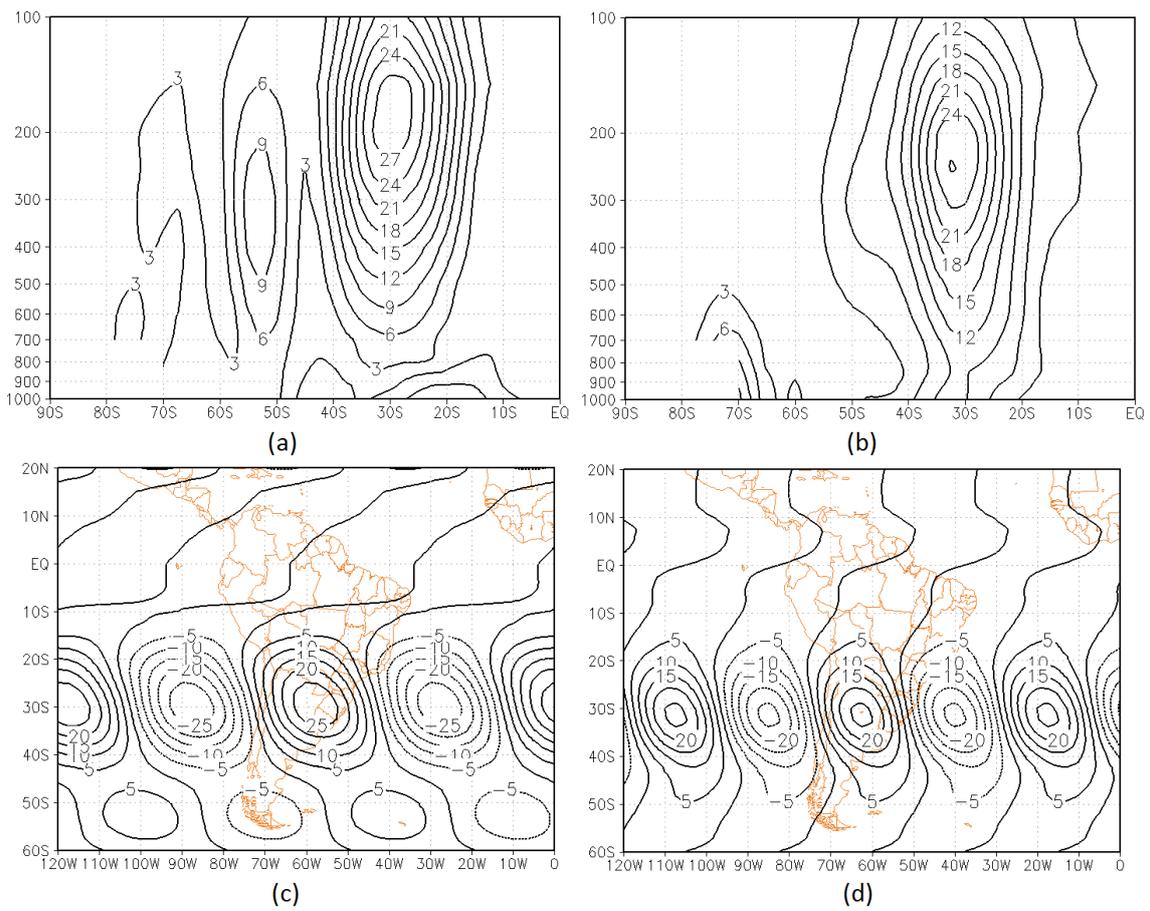


Figura 6.26 - Estrutura vertical da OE 6 (a), da OE 8 (b). OE 6 em 200 hPa (c) e OE 8 em 200 hPa (mgp).

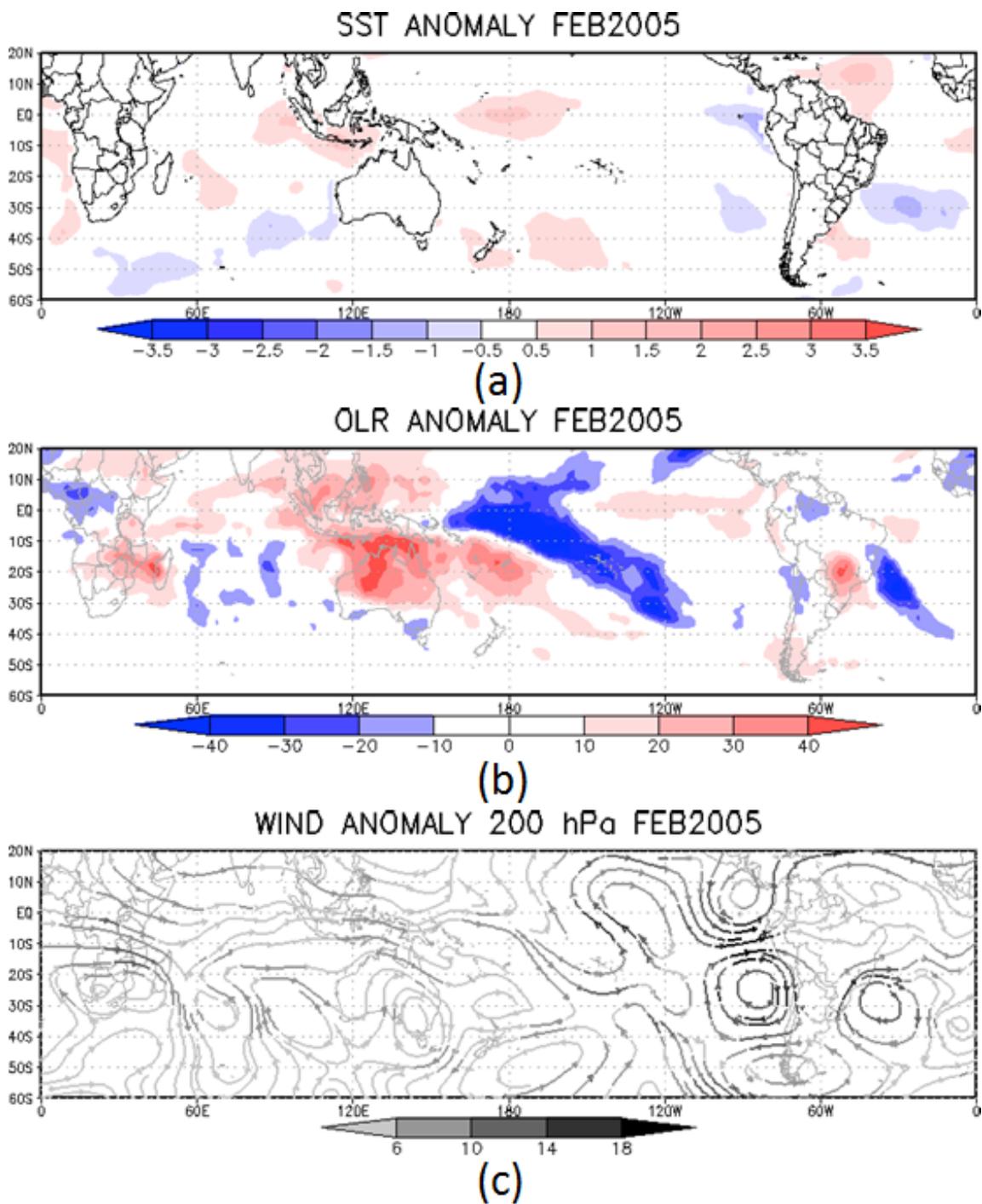


Figura 6.27 - (a) anomalia de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ), (b) anomalia de ROL ( $\text{w}/\text{m}^2$ ) e (c) anomalia das linhas de corrente em 200 hPa ( $\text{m}/\text{s}$ ).

## 6.7 Sumário

Foram analisados os compostos tentando compreender as interações entre as OE e as anomalias climáticas nos campos de precipitação e temperatura em baixos níveis. Com o fim de analisar os efeitos das diferentes fases das ondas sobre a América do Sul e oceanos adjacentes, foi feita uma seleção de casos com grandes anomalias na amplitude, os quais foram agrupados em compostos. As configurações identificadas nos compostos sugerem que a onda 1 e 2 tem relação com fenômenos de El Niño e La Niña (efeitos também destacados em [Fernandez \(2004\)](#)). A onda 3 tem uma relação com anomalias positivas de precipitação sobre o norte e o nordeste do Brasil e anomalias negativas sobre o sul do Brasil no verão e no outono condizente com os estudos de [Marques e Rao \(1999\)](#). As ondas 1, 2 e 3 também apresentaram relação com anomalias de temperatura em baixos níveis próximo à região Antártica (concordando com resultados de [\(HOBBS; RAPHAEL, 2010\)](#)). A onda 4 mostrou uma relação com as anomalias de precipitação no sul, sudeste e centro-este do Brasil na primavera e no verão, concordando com as análises da climatologia, portanto uma onda 4 mais intensa indica relação com anomalias de precipitação no sul e sudeste do Brasil. No estudo do caso de fevereiro de 2005, pode-se notar que várias ondas podem ser amplificadas, resultando em interação entre elas, contribuindo para ressaltar ou inibir características locais.



## 7 CONCLUSÃO

Esse estudo mostrou características climáticas, características de variabilidade mensal, sazonal, intrasazonal e interanual das ondas planetárias, e características de anomalias climáticas em compostos de casos em que a amplitude foi anômala.

### 7.1 Climatologia

Foi feito um estudo observacional das OE no HS com os dados de reanálise 2 NCEP-DOE. Primeiramente foi calculada a média dos dados de geopotencial para cada mês, em 28 anos de dados, de 1979 a 2006. Os resultados foram decompostos em séries de Fourier e foram estudadas as características mensais das OEs 1 a 4. Os principais resultados para essa parte foram:

- As características das ondas 1 a 3 foram semelhantes às descritas por [Quintanar e Mechoso \(1995a\)](#), [Fernandez \(2004\)](#) porém foram apresentadas em maiores detalhes, para cada mês do ano, mostrando a variação nas suas amplitudes nas latitudes e longitudes do HS e suas estruturas verticais, além da variação durante o ano. As características também foram discutidas em relação à América do Sul;
- OE 1 apresenta centros em latitudes altas e baixas onde é dominante em relação às outras ondas. Nas latitudes médias sua amplitude é menor do que a onda 3 em grande parte do ano. No inverno, representa quase todo o campo quase-estacionário sobre a América do Sul, sugerindo uma influência na circulação sobre o continente. Nas latitudes altas o máximo se situa em 250 hPa nos meses de verão, e se estende para a estratosfera nos outros meses, com maiores intensidades no inverno e primavera.
- A OE 2 tem maiores amplitudes em 30S principalmente no fim do outono e começo do inverno. Apresenta uma grande variabilidade latitudinal em cada mês e também em cada ano. Tendo em vista a sua pequena amplitude, é geralmente anulada pelo efeito das outras ondas dominantes.
- A onda 3 tem amplitudes máximas nas latitudes médias, sendo dominante em vários meses do ano, principalmente no outono e inverno. Apresenta um dos centros sobre ou próximo ao sul da América do Sul em todos os meses do ano, podendo influenciar na circulação nessa região. Nos meses de verão, os centros nas latitudes baixas sobre a América do Sul e o Oceano Atlântico sugerem suas correspondências com a Alta da Bolívia e o cavado

do Atlântico. Nos meses de inverno esses centros não existem, o que reforça suas existências associadas às características de verão. Enquanto o centro das latitudes médias tem um máximo em 300 hPa, o centro de latitudes baixas tem seu máximo em torno de 150 hPa.

- A onda 4 tem maiores amplitudes nas latitudes subtropicais, mostrando características que podem ser associadas às Zonas de Convergência do HS. Sobre a América do Sul, observou-se um núcleo de máxima amplitude justamente sobre o centro do continente, nos meses de fim de primavera, verão e começo do outono. Sua amplitude máxima ocorre em torno de 150 hPa nos meses de verão.
- As OE 3 e OE 4 mostraram-se importantes nas circulações de verão da AS, apresentando características condizentes com o padrão de circulação dos sistemas AB e ZCAS. Sobretudo a OE 4 que apresentou uma estrutura com a mesma inclinação NO-SE, apresentada pela ZCAS.

## 7.2 Variabilidade

Os dados de cada um dos meses dos 28 anos de dados foram decompostos em séries de Fourier e foram analisados diversos aspectos da variabilidade interanual, mensal e intrasazonal das OE para os 28 anos de dados destacando-se pontos próximos a AS. Os principais resultados foram:

- A análise das variabilidades das amplitude mostrou que as OE 1 a 4 tem uma grande variabilidade em todos os meses, atingido valores extremamente baixos em alguns meses e bem altos em outros;
- nas análises da variabilidade interanual da amplitude da onda 1 foi possível observar duas latitudes de máxima amplitude em todos os meses, geralmente entre 55°S e 75°S, normalmente com máxima amplitude, e um segundo máximo geralmente localizado entre 30°S e 40°S ;
- nas análises da variabilidade interanual da amplitude da onda 2 notou-se que sua variabilidade é muito grande e embora também tenha dois máximos de amplitude, a localização desses máximos é muito variável, tanto relativamente à época do ano como de ano para ano. Entretanto, sua maior amplitude geralmente ocorre entre 50°S e 70°S, e atinge valores bem menores do que a OE 1.

- nas análises da variabilidade interanual da amplitude da onda 3, estas mostraram uma variabilidade latitudinal bem menor que as ondas 1 e 2, com uma região preferencial para valores máximos entre 40°S e 60°S.
- nas análises da variabilidade interanual da amplitude onda 4 foi observada uma grande variabilidade, com um máximo próximo a latitudes de 40°S e 60°S e um segundo máximo que ocorre somente nos meses de verão de novembro a março entre 20 e 30°S, que indica mais uma vez que essa onda tem relação com as circulações de verão do HS.
- nas análises de variabilidade intrasazonal (meses dentro de uma mesma estação) foi possível observar que mesmo dentro de uma mesma estação do ano as Oes costumam apresentar valores bem abaixo da média em um determinado mês e bem acima da média em outro.

### 7.3 Compostos e Casos

Foram selecionados 6 casos em que as amplitudes estiveram bem acima da média para cada mês. Esses casos foram analisados com relação à fase e agrupados em compostos sazonais. Esses compostos foram analisados com relação às anomalias de precipitação e temperatura. Os principais resultados foram:

- As configurações identificadas nos compostos sugerem que a onda 1 e 2 tem interação com fenômenos de El Niño e La Niña.
- A onda 3 tem uma relação com anomalias positivas de precipitação sobre o norte e o nordeste do Brasil e anomalias negativas sobre o sul do Brasil no verão e no outono.
- As ondas 1, 2 e 3 também apresentaram relação com anomalias de temperatura em baixos níveis próximo à região Antártica.
- A onda 4 mostrou uma relação com as anomalias de precipitação no sul, sudeste e centro-este do Brasil na primavera e no verão.

### 7.4 Sugestões para trabalhos futuros

Utilizar a decomposição em séries de fourier para estudos diários da evolução das ondas. Detalhar o papel da onda 4 nas circulações de verão do HS. Estudos da relação causa e efeito relacionados à amplificação conjunta de 2 ou mais OEs e as

anomalias climáticas observadas. Estudos com modelos climáticos, para simular as relações entre às anomalias da OEs e anomalias climáticas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER, R. F.; HUFFMAN, G. J.; CHANG, A.; FERRARO, R.; XIE, P.-P.; JANOWIAK, J.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; CURTIS, S.; BOLVIN, D.; GRUBER, A.; SUSSKIND, J.; ARKIN, P.; NELKIN, E. The version-2 global precipitation climatology project (gpcp) monthly precipitation analysis (1979-present). **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, p. 1147–1167, 2003. 13
- AMBRIZZI, T.; HOSKINS, B. Stationary rossby-wave propagation in a baroclinic atmosphere. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 123, p. 919–928, 1996. 11
- BAINES, P. G.; FRAEDRICH, K. Topographic effects on the mean tropospheric flow patterns around antarctica. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 46, p. 3401–3415, 1989. 6, 12
- BOLETIM CLIMANÁLISE. setembro 1997. Boletim Climanálise. Disponível em: <[http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0997/aspec\\_grandescala.html](http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0997/aspec_grandescala.html)>. 68
- BOLETIM CLIMANÁLISE. fevereiro 2005. Boletim Climanálise. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0205/index.html>>. 125
- BURKHARDT, J. P.; LUPO, A. R. The planetary- and synoptic-scale interactions in a southeast pacific blocking episode using pv diagnostics. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 62, p. 1901–1916, 2005. 10
- CAVALCANTI, I. F. A. Teleconnection patterns orographically induced in model results and from observational data in the austral winter of the southern hemisphere. **International Journal of Climatology**, v. 20, p. 1191–1206, 2000. 11, 28, 63, 67, 91, 127
- CAVALCANTI, I. F. d. A.; CUNNINGHAM, C. C. The wave four intraseasonal variability in extratropical s.h. and influences over south america- the behaviour of cptec/cola agcm. In: VERA, C.; NOBRE, C. (Ed.). **Proceedings...** 45 Beacon Hill Road, Boston, MA, USA: American Meteorological Society (AMS), 2006. p. 533–537. Disponível em: <[http://urlib.net/cptec.inpe.br/adm\\_conf/2005/10.06.20.24](http://urlib.net/cptec.inpe.br/adm_conf/2005/10.06.20.24)>. Acesso em: 23 maio 2012. 17, 28, 68

- CAZES-BOEZIO, G.; ROBERTSON, A. W.; MECHOSO, C. R. Seasonal dependence of enso teleconnections over south america and relationships with precipitation in uruguay. **Journal of Climate**, v. 16, p. 1159–1176, 2003. 12
- CHEN, T.-C.; WENG, S.-P.; SCHUBERT, S. Maintenance of austral summertime upper-tropospheric circulation over tropical south america: The bolivian high nordeste-low system. **Jornal of the Atmospheric Science**, v. 56, p. 2081–2100, 1999. 8, 11, 12, 28, 67
- CUFF, T. J.; CAI, M. Interaction between the low and high-frequency transients in the southern hemisphere winter circulation. **Tellus**, v. 47a, p. 331–350, 1995. 9
- CUNNINGHAM, C.; CAVALCANTI, I. Intraseasonal modes of variability affecting the south atlantic convergence zone. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1165–1180, 2006. 125
- DEFESA CIVIL RIO GRANDE DO SUL. 2010. Defesa Civil Rio Grande do Sul. Dados sobre municípios em situação de emergência. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br/>>. 1, 124
- DRUMOND, A. R. M.; AMBRIZZI, T. The role of sst on the south american atmospheric circulation during january, february and march 2001. **Climate Dynamics**, v. 24, p. 781–791, 2005. 122
- \_\_\_\_\_. The role of the south indian and pacific oceans in south american monsoon variability. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 94, p. 125–137, 2008. 125, 129
- EBISUZAKI, W. Interactions between long and synoptic-scale waves. part i: Instability of a nonzonal flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 46, p. 441–449, 1989. 7
- \_\_\_\_\_. Interactions between long and synoptic-scale waves. part ii: Growth rate of long waves. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 46, p. 450–459, 1989. 7
- ELIASSEN, A.; PALM, E. On the transfer energy in stationary mountain waves. **Geophys. Publ.**, v. 22, p. 1–23, 1961. 64
- FERNANDEZ, J. P. R. **Ondas quase-estacionárias no hemisfério sul: observações e simulações climáticas sobre a América do Sul**. 255 p. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004-04-05 2004. Disponível em:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2004/06.22.15.46>>. Acesso em: 16 maio 2012. 7, 10, 11, 12, 14, 17, 23, 66, 98, 135, 137

FIGUEROA, S. N. **Estudo dos sistemas de circulacao de verao sobre a America do Sul e suas simulacoes com modelos numericos**. 181 p. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos, 1997-08 1997. Disponível em:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/06.15.09.40>>. Acesso em: 23 maio 2012. 8, 11, 29, 67

FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B.; BARBIERI, P. R. B.; SANTO, C. M. E. Rainy-season duration estimated from olr versus rain gauge data and the 2001 drought in southeast brazil. **Journar Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, p. 1493–1499, 2008. 1

FREITAS, A. C. V. **Mudanças nas ondas quase-estacionárias em um cenário de aquecimento do clima**. 366 p. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011-06-02 2011.

Disponível em:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19/2011/05.01.17.05>>. Acesso em: 14 maio 2012. 2, 7

GAN, M.; RAO, V. Surface cyclogenesis over south america. **Monthly Weather Review**, v. 119, p. 1293–1302, 1991. 128

GEMIACKI, L.; RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. d. A. A seca no brasil em fevereiro de 2005 e as anomalias nas ondas quase-estacionárias no hs. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15. (CBMET), 2008, São Paulo. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2008. Setores de Atividade: Educação.

Disponível em:

<<http://urlib.net/dpi.inpe.br/plutao/2010/12.02.13.14.57>>. Acesso em: 16 maio 2012. 1

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern brazil associated with el niño and la niña events. **Journal of Climate**, v. 11, p. 2863–2880, 1998. 1

HANNACHI, A.; JOLLIFFE, I. T. I. T.; STEPHENSON, D. B. D. B. Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review.

**International Journal of Climatology**, v. 27, p. 1119–1152, 2007. 15

- HANSEN, A. R.; SUTERA, A. Planetary wave amplitude bimodality in the southern hemisphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 45, p. 3771–3783, 1988. 6
- HARTMANN, D. L. Stationary planetary waves in the southern hemisphere. **Journal of Geophysical Research**, v. 82, p. 4930–4934, 1977. 5, 12
- HARTMANN, D. L.; MECHOSO, C. R.; YAMAZAKI, K. Observations of wave-mean flow interaction in the southern hemisphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 41, p. 351–362, 1984. 6
- HERDIES, D. L.; SILVA, A. da; DIAS, M. A. F. S.; FERREIRA, R. N. Moisture budget of the bimodal pattern of the summer circulation over south america. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, p. 10, 2002. 125
- HIO, Y.; YODEN, S. Quasi- periodic variations of the polar vortex in the southern hemisphere stratosphere due to wave wave interaction. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 61, p. 2510–2527, 2004. 6
- HOBBS, W. R.; RAPHAEL, M. N. A representative time-series for the southern hemisphere zonal wave1. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. 1–6, 2007. 7, 12, 27
- \_\_\_\_\_. Characterizing the zonally asymmetric component of the sh circulation. **Climate Dynamics**, v. 35, p. 859–873, 2010. 66, 135
- HOLTON, J. R. **An Introduction to Dinamic Meteorology**. [S.l.]: Elsevier, 2004. 63, 64
- HOSKINS, B.; PEARCE, R. **Large-scale dynamical processes in the atmosphere**. [S.l.]: Academic Press, 1983. 64
- HOSKINS, B. J.; AMBRIZZI, T. Rossby wave propagation on a realistic longitudinally varying flow. **Jornal of the Atmospheric Science**, v. 50, p. 1661–1671, 1993. 11
- <http://www.iges.org/grads/>. <http://www.iges.org/grads/>. MAY 2012. Disponível em: <<http://www.iges.org/grads/>>. 14
- INATSU, M.; HOSKINS, B. J. The zonal asymmetry of the southern hemisphere winter storm track. **Jornal of Climate**, v. 17, p. 4882–4892, 2004. 9

INATSU, M.; MUKOUGAWA, H.; XIE, S.-P. Atmospheric response to zonal variations in midlatitude sst: Transient and stationary eddies and their feedback. **Journal of Climate**, v. 16, p. 3314–3329, 2003. 9

ITOH, H. The role of transient motions in the formation of quasi-stationary planetary waves. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 42, p. 917–932, 1985. 9

JAMES, I. N. On the forcing of planetary-scale rossby waves by antarctica. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 114, p. 619–637, 1988. 11

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 of the Atmospheric Sciences**, v. 43, p. 252–275, 1986. 8, 11, 12, 128, 129

KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S.-K.; HNILO, J. J.; FIORINO, M.; POTTER, G. L. Ncep-doe amip-ii reanalysis (r-2). **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, p. 1631–1643, 2002. 13

KAROLY, D. J. An atmospheric climatology of the southern hemisphere based on ten years of daily numerical analyses (1972-82):ii standing wave climatology. **Australian Meteorological Magazine**, v. 33, p. 105–116, 1985. 6, 12, 63

KAROLY, D. J.; PLUMB, R. A.; TING, M. Examples of the horizontal propagation of quasi-stationary waves. **Jornal of Atmospheric Science**, v. 46, p. 2802–2811, 1989. 9, 11

KASAHARA, A.; DIAS, P. L. da S. Response of planetary waves to stationary tropical heating in a global atmosphere with meridional and vertical shear. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 43, p. 1893–1912, 1986. 9, 12

KINDSON, J. W. Indices of the southern hemisphere zonal wind. **Journal of Climate**, v. 1, p. 184–194, 1988. 17

KODAMA, Y.-M. Large-escale common features of sub-tropical convergence zones (the baiu frontal zone, the spcz, and sacz) part ii: Conditions of the circulations for generation the stczs. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 71, p. 581–609, 1993. 8, 12

- KOUSKY, V. E.; KAGANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. A review of the southern oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v. 36A, p. 490–504, 1984. 1
- LENTERS, J. D.; COOK, K. H. On the origin of the bolivian high and related circulation features of the south american climate. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 54, p. 656–678, 1997. 8
- LIEBMANN, B.; SMITH, C. A. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 77, p. 1275–1277, 1996. 13
- LIU, A. Z.; TING, M.; WANG, H. Maintenance of circulation anomalies during the 1988 drought and 1993 floods over the united states. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 55, p. 2810–2832, 1998. 1, 10
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; TOMASELA, J.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S. de; OLIVEIRA, R. de; CAMARGO, H.; ALVES, L. M.; BROWN, I. F. The drought of amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, p. 495–516, 2008. 1
- MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the amazon region. **Geophysical Research letters**, v. 38, p. 5, 2011. 1
- MARQUES, R. d. F. C. **Bloqueio atmosférico no Hemisfério Sul**. 182 p. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos, 1996-10-14 1996. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.29.05.23>>. Acesso em: 15 jun. 2012. 14
- 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. 10, 11, 12, 84, 91, 117, 135
- MENDES, M.; TRIGO, R.; CAVALCANTI, I.; DACAMARA, C. Blocking episodes in the southern hemisphere: Impact on the climate of adjacent continental areas. **Pure and Applied Geophysics**, v. 165, p. 1941–1962, 2008. 126
- MISHRA, S. K.; RAO, V. B.; GAN, M. A. Structure and evolution of the large-scale flow and an embedded upper-tropospheric cyclonic vortex over northeast brazil. **Monthly Weather Review**, v. 129, p. 1673–1688, 2001. 28

- MO, K. C. Quasi-stationary states in the southern hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 114, p. 808–823, 1986. 10, 12
- MO, K. C.; HIGGINS, R. W. The pacific-south american modes and tropical convection during the southern hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, v. 126, p. 1581–1596, 1998. 12
- MO, K. C.; WHITE, G. H. Teleconnections in the southern hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 113, p. 22–37, 1985. 6, 23
- PAN, Z.; ARRITT, R.; SEGAL, M. Effects of quasi-stationary large scale anomalies on some mesoscale features associated with the 1993 flood: A regional model simulation. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, p. 29551–29564, 2000. 10
- PAN, Z.; SEGAL, M.; ARRITT, R.; CHEN, T.; WENG, S. A method for simulating effects of quasi-stationary wave anomalies on regional climate. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1336–1343, 1999. 10
- PEIXOTO, J. P.; SALTZMAN, B.; TEWELES, S. Harmonic analysis of the topographic along parallels of the earth. **Journal of Geophysical Research**, v. 69, p. 1501–1505, 1964. 18, 63
- PEZZI, L. P.; ROSA, M. B.; BATISTA, N. N. M. A corrente de jato subtropical na america do sul. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, on line, n. Especial 10 anos, 1996. ISSN 0103-0019. Disponível em: <<http://urlib.net/cptec.inpe.br/walmeida/2004/12.21.14.23>>. Acesso em: 17 jun. 2012. 17, 41, 68
- QIN, J.; ROBINSON, W. A. Barotropic dynamics of interactions between synoptic and low-frequency eddies. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 49, p. 71–79, 1992. 9
- QUADRO, M. F. L. d. **Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 124 p. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993-11-25 1994. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.26.14.10>>. Acesso em: 16 jun. 2012. 64

QUINTANAR, A. I.; MECHOSO, C. R. Quasi-stationary waves in the southern hemisphere. part i: Observational data. **Journal of Climate**, v. 8, p. 2659–2672, 1995. 6, 7, 11, 12, 14, 17, 66, 137

\_\_\_\_\_. Quasi-stationary waves in the southern hemisphere. part ii: Generation mechanisms. **Journal of Climate**, v. 8, p. 2673–2690, 1995. 2, 7, 63

RAIA, A.; CAVALCANTI, I. F. A. The life cycle of the south american monsoon system. **Journal of Climate**, v. 21, p. 6227–6246, 2008. 125

RANDEL, W. J.; STANFORD, J. L. An observational study of medium-scale wave dynamics in the southern hemisphere summer. part ii: Stationary-transient wave interference. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 42, p. 1189–1197, 1985. 9

RAO, V.; CHAPA, S.; FERNANDEZ, J.; FRANCHITO, S. Diagnosis of rainfall over south america during the 1997/98 el niño event. part ii: Roles of water vapor transport and stationary waves. **Journal of Climate**, v. 15, p. 512–521, 2002. 1, 10, 129

RAO, V.; SANTO, C.; FRANCHITO, S. Diagnosis of rainfall over south america during the 1997/98 el niño event. part i: Validation of ncep-ncar reanalysis rainfall data. **Journal of Climate**, v. 15, p. 502–511, 2002. 11

RAO, V. B.; FERNANDEZ, J. P. R.; FRANQUITO, S. H. Quasi-stationary waves in the southern hemisphere during el niño and la niña. **Annales Geophysicae**, v. 22, p. 789–806, 2004. 7, 12, 81

RAPHAEL, M. N. Quasi-stationary waves in the southern hemisphere: An examination of their simulation by the ncar climate system model, with and without an interactive ocean. **Journal of Climate**, v. 11, p. 1405–1418, 1998. 2

\_\_\_\_\_. The influence of atmospheric zonal wave three on antarctic sea ice variability. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, p. D12112, 2007. 11, 12

RENWICK, J. A. Persistent positive anomalies in the southern hemisphere circulation. **Monthly Weather Review**, v. 133, p. 977–988, 2005. 7

RENWICK, J. A.; REVELL, M. J. Blocking over the south pacific and rossby wave propagation. **Monthly Weather Review**, v. 127, p. 2233–2247, 1999. 129

- ROBERTSON, A. W.; MECHOSO, C. Interannual and interdecadal variability of the south atlantic convergence zone. **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 2947–2957, 2000. 11
- SATYAMURTY, P.; SANTOS, R. P. dos; LEMES, M. A. M. On the stationary trough generated by the andes. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 510–520, 1980. 8
- SMAGORINSKY, J. The dynamical influence of large-scale heat sources and sinks on the quasi-stationary mean motions of the atmosphere. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 79, p. 342–366, 1953. 11
- SMITH, T. R. W. R.; PETERSON, T. C.; LAWRIK, J. Improvements to noaa historical merged landocean surface temperature analysis (18802006). **Journal of Climate**, v. 21, p. 2283–2296, 2008. 13
- TEDESCHI, R. G.; CAVALCANTI, I. F. d. A.; GRIMM, A. M. Influences of two types of enso on south american precipitation. **International Journal of Climatology**, \*, p. 19p, may 2012. ISSN 0899-8418. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/07.03.12.43>>. Acesso em: 02 out. 2012. 98
- TING, M.; HOERLING, M. Dynamics of stationary wave anomalies during the 1986/1987 el niño. **Climate Dynamics**, v. 9, p. 147–164, 1993. 10
- TRENBERTH, K.; MO, K. Blocking in the southern hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 113, p. 3–21, 1985. 1, 67, 84, 91, 127
- TRENBERTH, K. E. Planetary waves at 500 mb in the southern hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 9, p. 1378–1389, 1980. 5, 12, 126
- TRENBERTH, K. E.; BRANSTATOR, G. W.; KAROLY, D.; KUMAR, A.; LAU, N.-C.; ROPELEWSKI, C. Progress during toga in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperature. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, p. 14291–14324, 1998. 9
- van Loon, H.; JENNE, R. L. The zonal harmonic standing waves in the southern hemisphere. **Journal of Geophysical Research**, v. 77, p. 992–1033, 1972. 5, 12, 14, 17, 23, 28, 66
- VASQUES, A. C. **Características de Precipitação sobre a América do Sul Provenientes de Diferentes Fontes de Dados com Ênfase no Brasil**. Dissertação (Mestrado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. 13

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the americas. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, p. 9591–9613, 1987. 128

VERA, C.; HIGGINS, W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-PAEGLE, J.; DIAS, P. L. S.; ZHANG, C. Toward a unified view of the american monsoon systems. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4977–5000, 2006. 125

VIANELLO, R. L. **Ondas estacionárias forçadas pela topografia e pelas fontes e sumidouros de calor no Hemisferio Sul**. 134 p. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos, 1980-08-01 1980. Disponível em:  
<<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.26.21.25.12>>. Acesso em: 16 maio 2012. 6

WALLACE, J. M. The climatological mean stationary waves: observational evidence. In: \_\_\_\_\_. [S.l.]: Academic Press, 1983. cap. 2, p. 27–53. 2

WANG, H.; TING, M. Seasonal cycle of the climatological stationary waves in the ncep-ncar reanalysis. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 56, n. 22, p. 3892–3919, 1999. 2, 10, 11, 66

YASUNARI, T. Stationary waves in the southern hemisphere mid-latitude zone revealed from average brightness charts. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 55, p. 274–285, 1977. 68

## APÊNDICE A - Características complementares de anomalias médias referente aos compostos do capítulo 6

### A.1 Pressão ao Nível do Mar

Neste apêndice são apresentadas características complementares de anomalias em algumas variáveis atmosféricas referentes aos compostos do capítulo 6, essas características geralmente demonstram um padrão de trem de onda do Pacífico para a América do Sul.

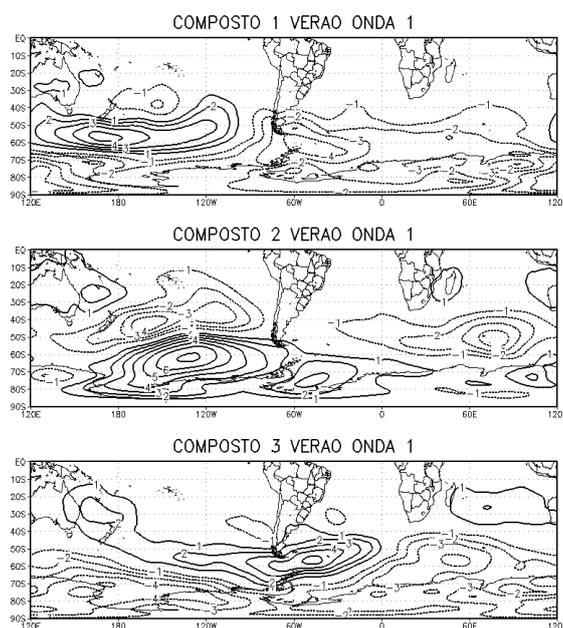


Figura A.1 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de verão da OE 1, conforme Tabela 6.5.

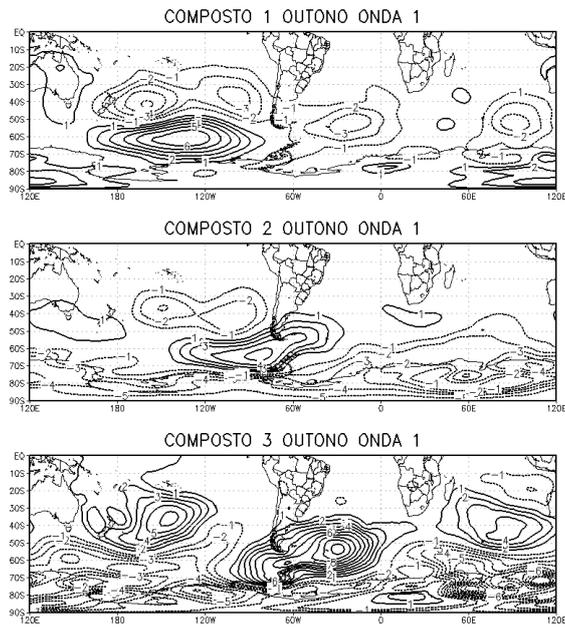


Figura A.2 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de outono da OE 1, conforme Tabela 6.5.

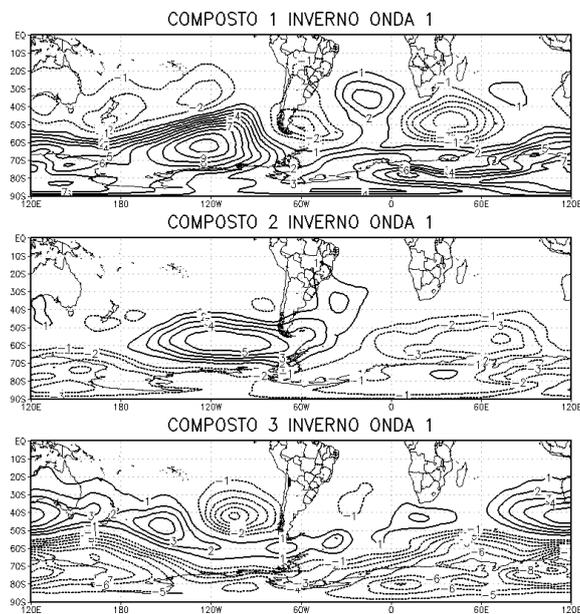


Figura A.3 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de inverno da OE 1, conforme Tabela 6.5.

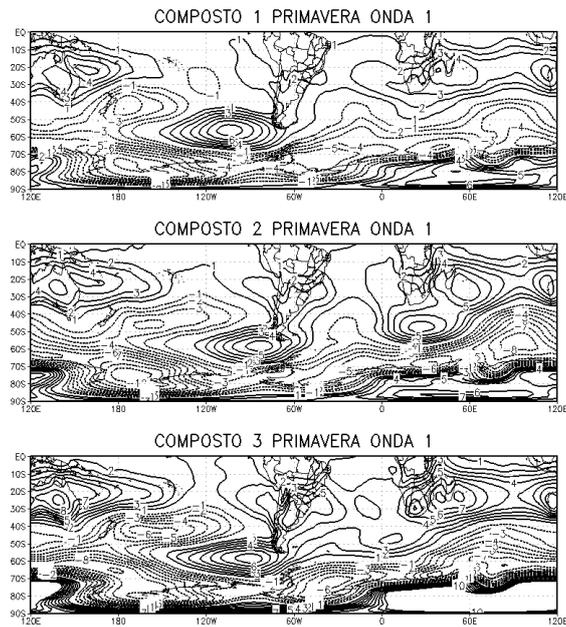


Figura A.4 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de inverno da OE 1, conforme Tabela 6.5.

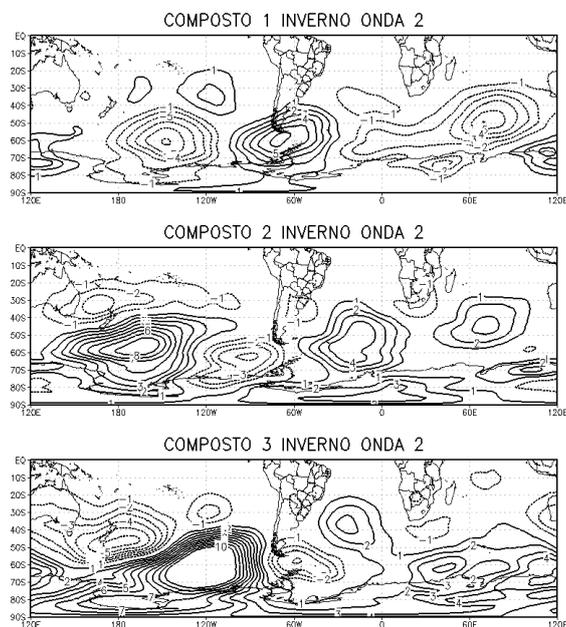


Figura A.5 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de verão da OE 2, conforme Tabela 6.6.

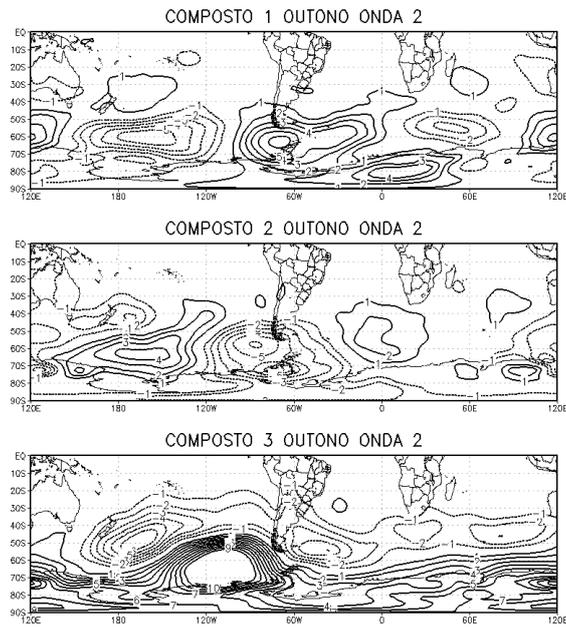


Figura A.6 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de outono da OE 2, conforme Tabela 6.6.

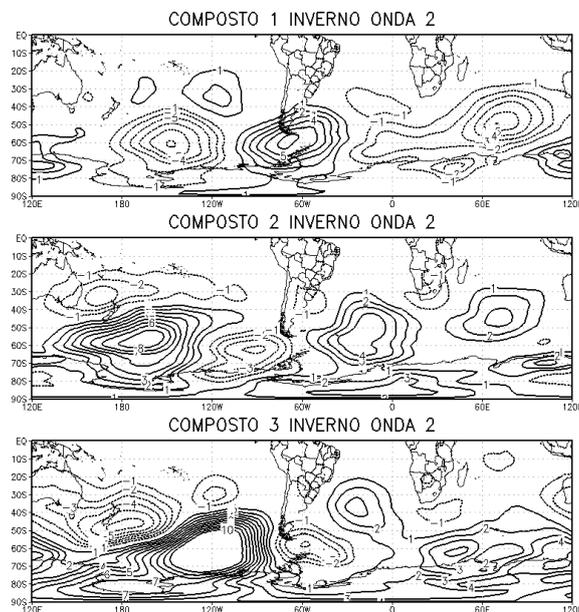


Figura A.7 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de inverno da OE 2, conforme Tabela 6.6.

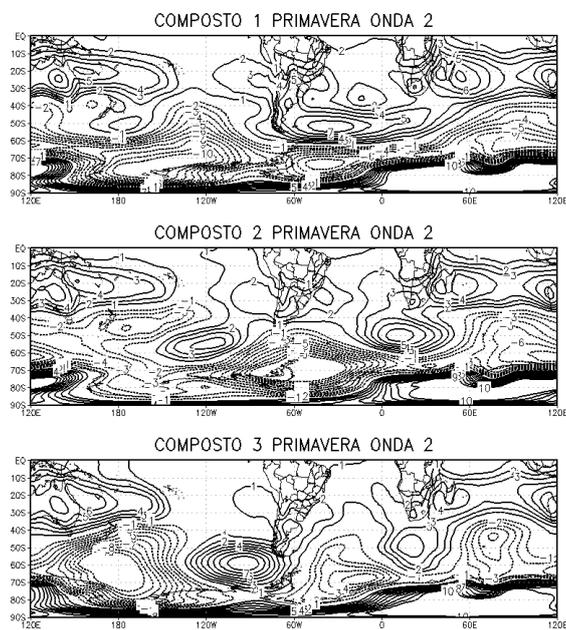


Figura A.8 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de primavera da OE 2, conforme Tabela 6.6.

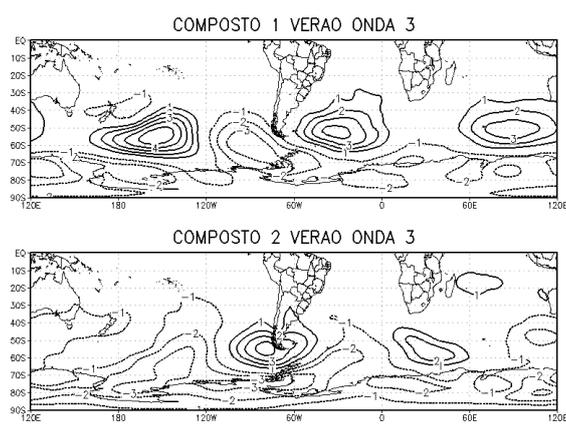


Figura A.9 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de verão da OE 3, conforme Tabela 6.7.

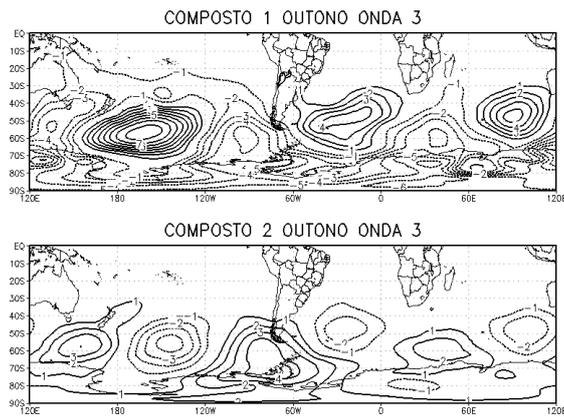


Figura A.10 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de outono da OE 3, conforme Tabela 6.7.

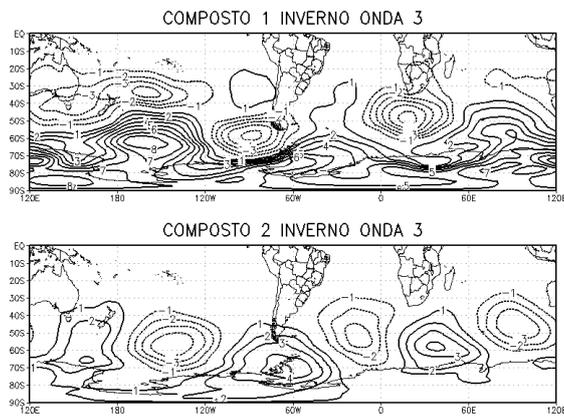


Figura A.11 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de inverno da OE 3, conforme Tabela 6.7.

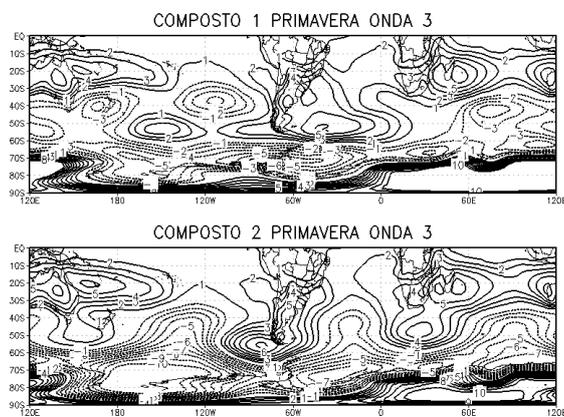


Figura A.12 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de primavera da OE 3, conforme Tabela 6.7.

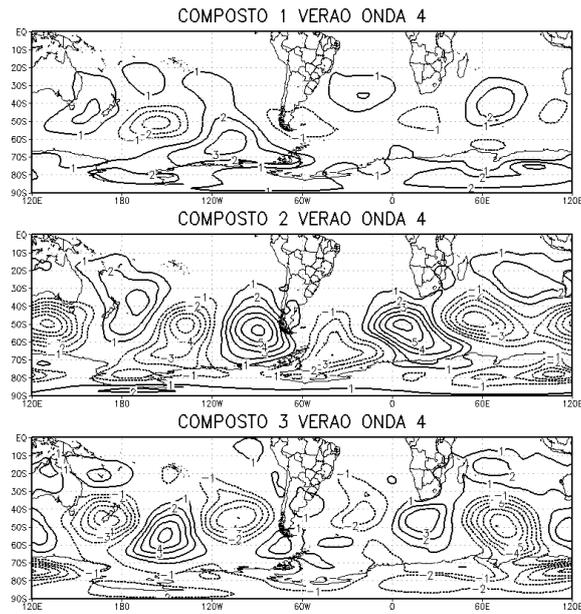


Figura A.13 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de verão da OE 4, conforme Tabela 6.8.

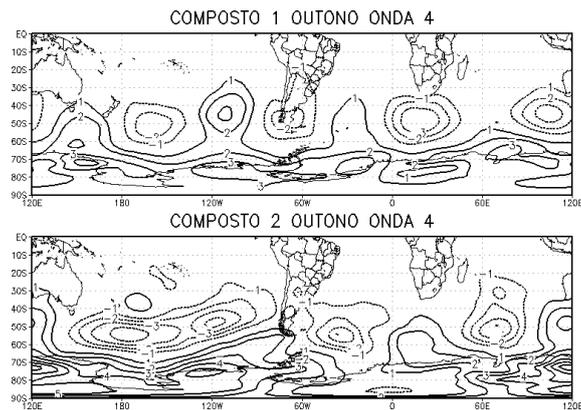


Figura A.14 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de outono da OE 4, conforme Tabela 6.8.

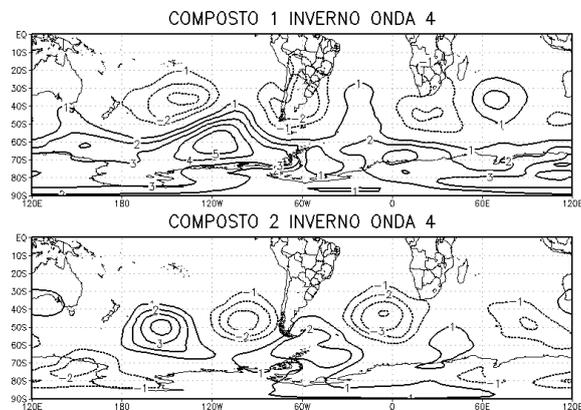


Figura A.15 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de inverno da OE 4, conforme Tabela 6.8.

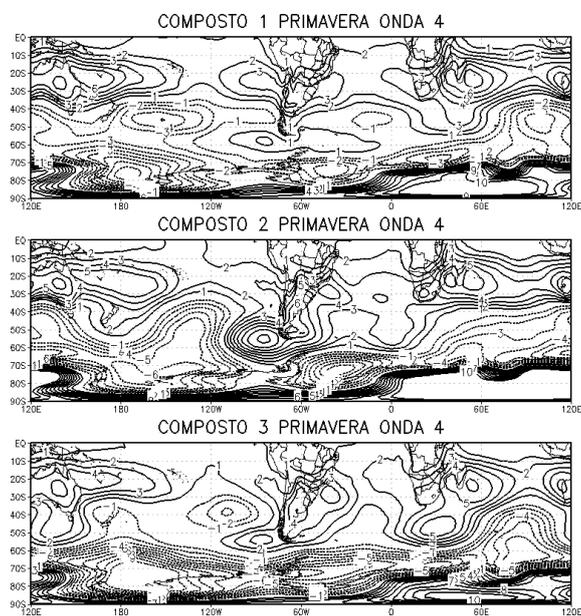


Figura A.16 - Média das anomalias mensais de PNM (hPa) para os compostos de primavera da OE 4, conforme Tabela 6.8.

## A.2 Temperatura da superfície do mar

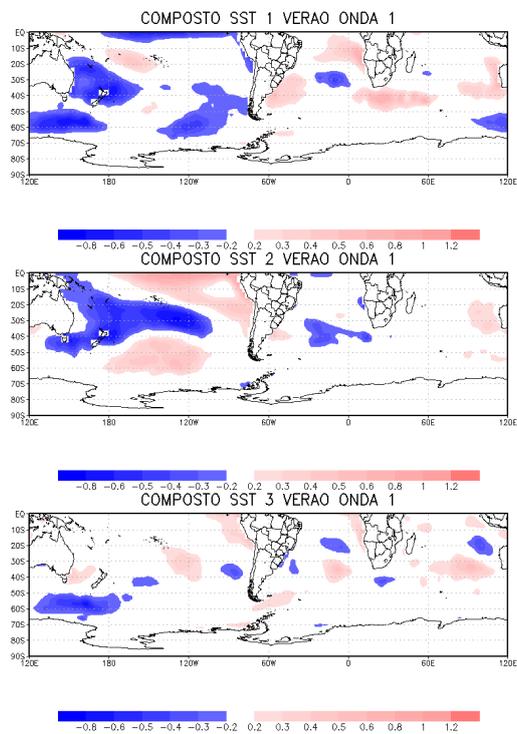


Figura A.17 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de verão da OE 1, conforme Tabela 6.5.

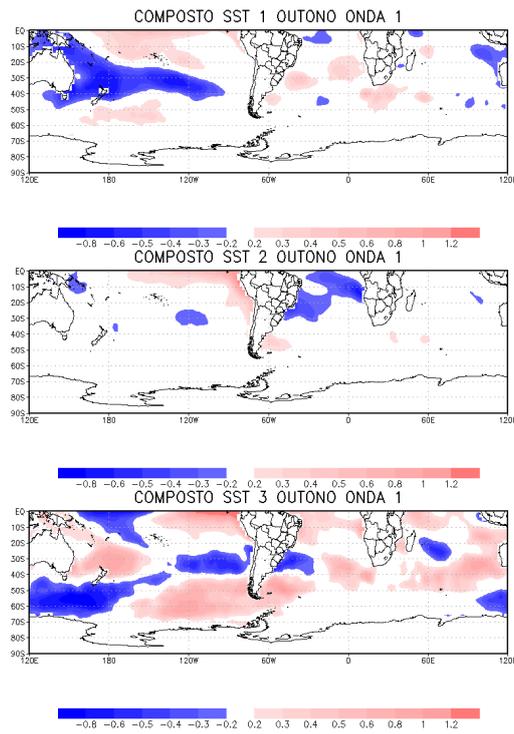


Figura A.18 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de outono da OE 1, conforme Tabela 6.5.

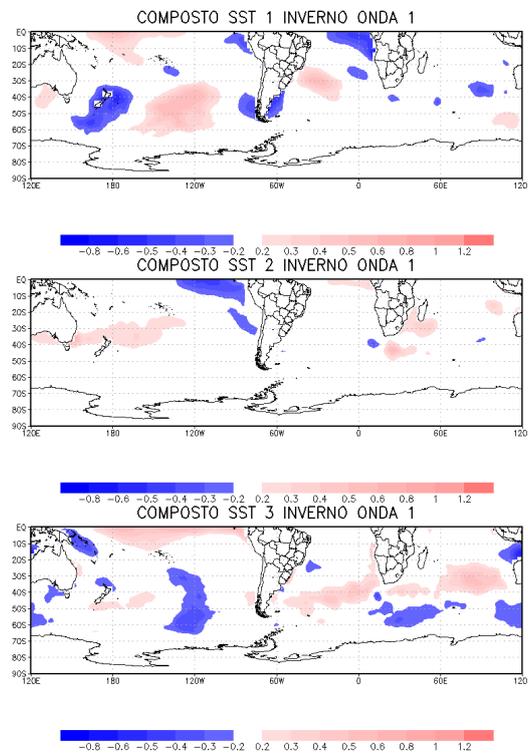


Figura A.19 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de inverno da OE 1, conforme Tabela 6.5.

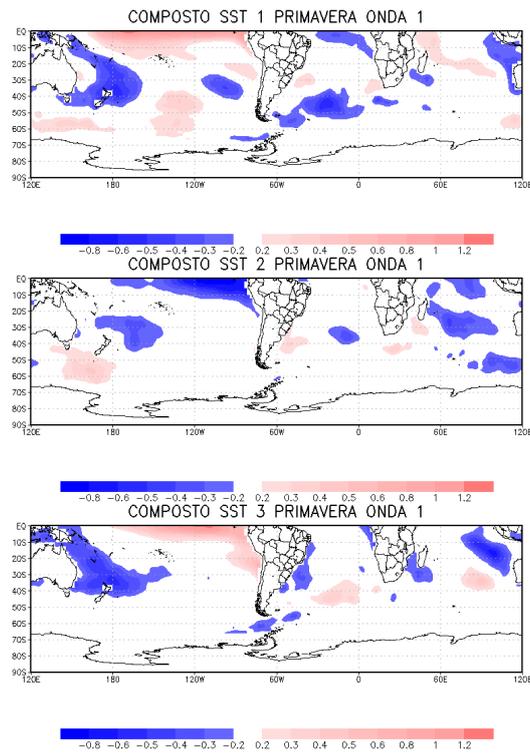


Figura A.20 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de primavera da OE 1, conforme Tabela 6.5.

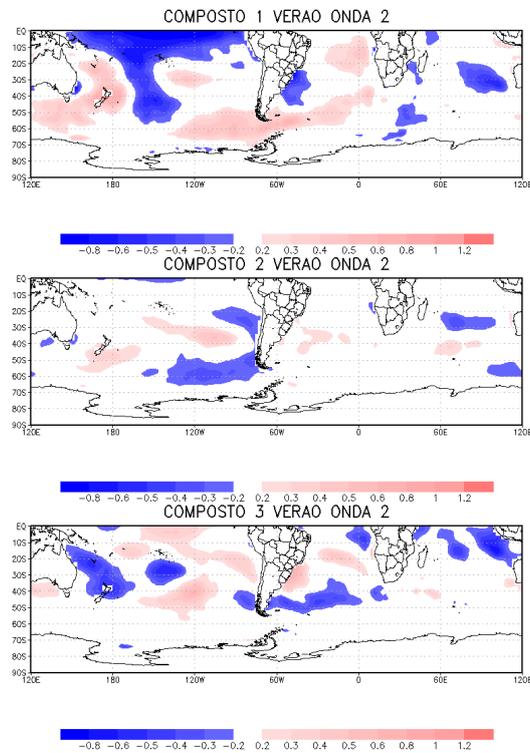


Figura A.21 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de verão da OE 2, conforme Tabela 6.6.

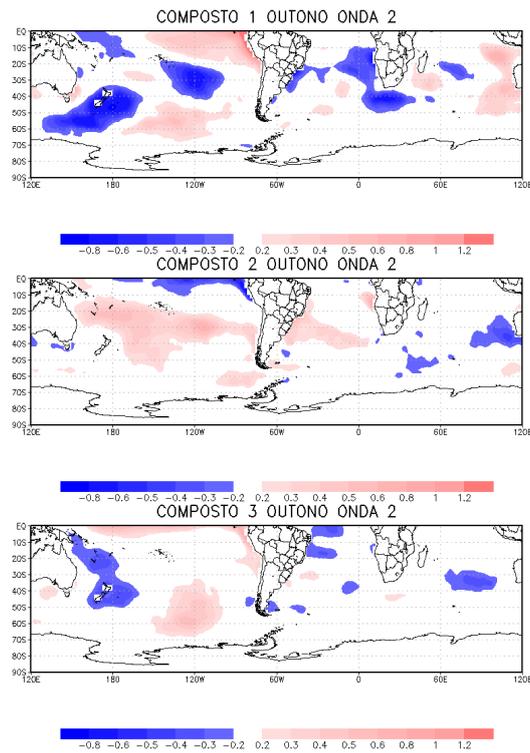


Figura A.22 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de outono da OE 2, conforme Tabela 6.6.

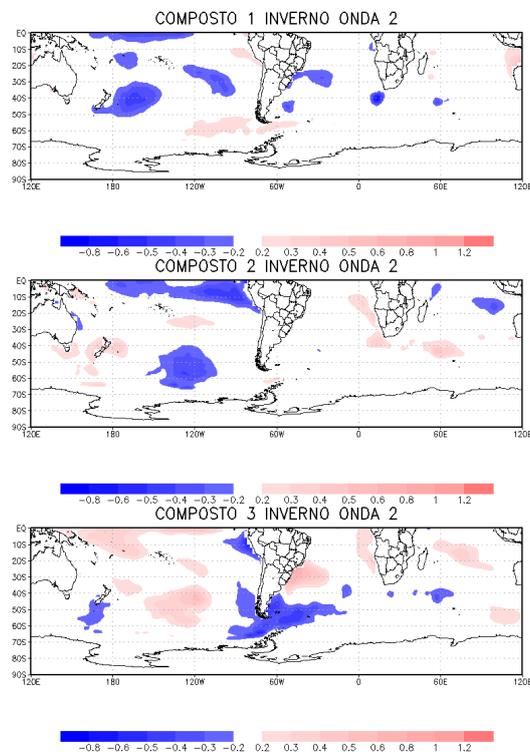


Figura A.23 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de inverno da OE 2, conforme Tabela 6.6.

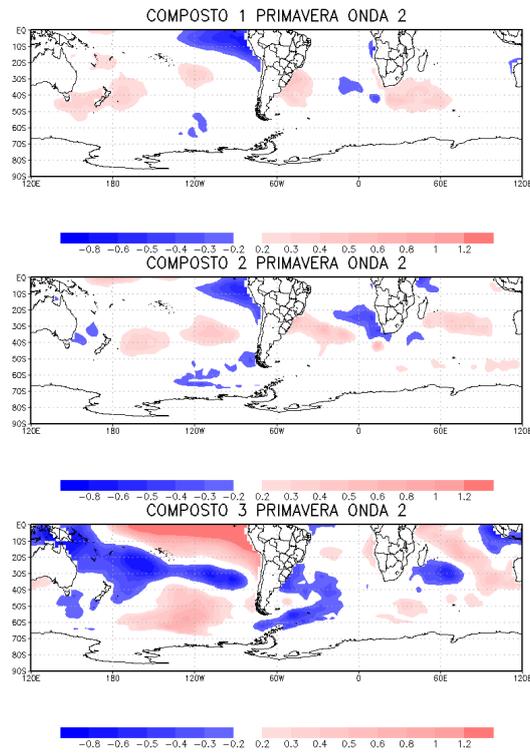


Figura A.24 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de primavera da OE 2, conforme Tabela 6.6.

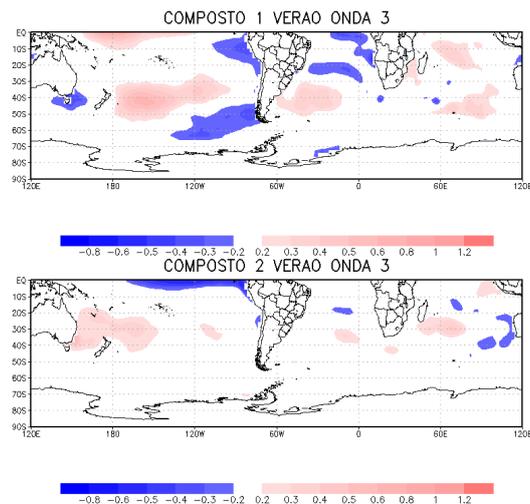


Figura A.25 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de verão da OE 3, conforme Tabela 6.7.

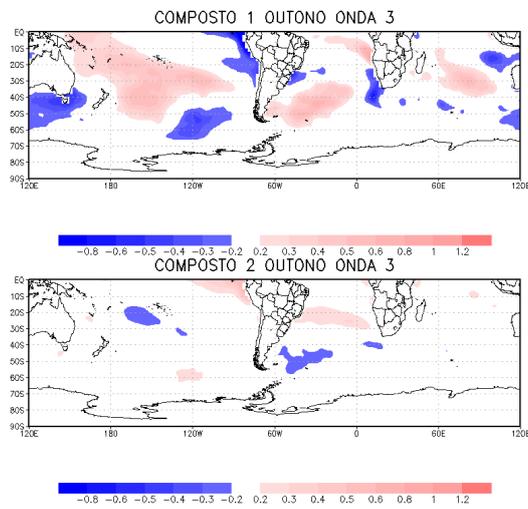


Figura A.26 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de outono da OE 3, conforme Tabela 6.7.

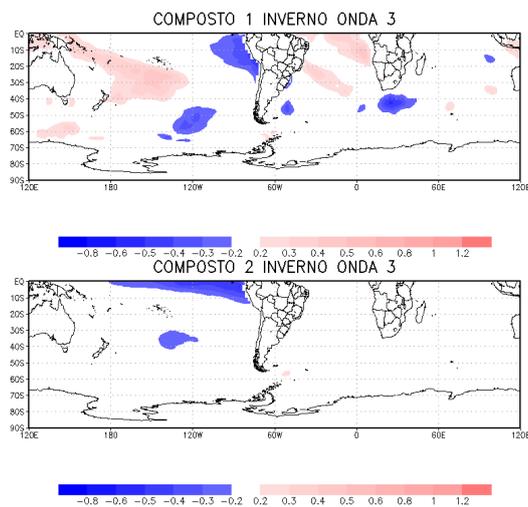


Figura A.27 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de inverno da OE 3, conforme Tabela 6.7.

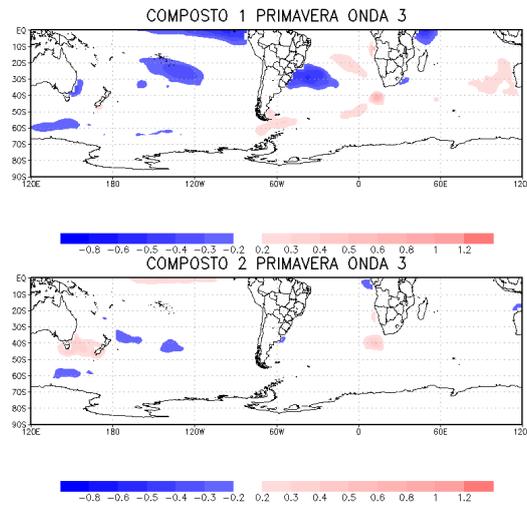


Figura A.28 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de primavera da OE 3, conforme Tabela 6.7.

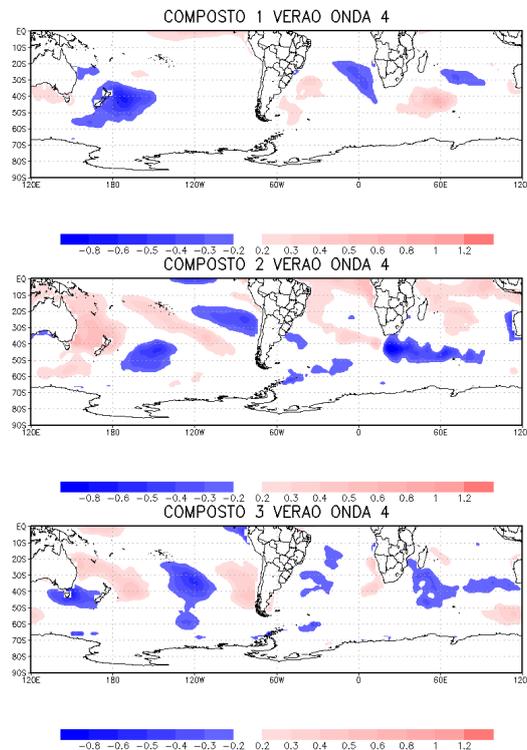


Figura A.29 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de verão da OE 4, conforme Tabela 6.8.

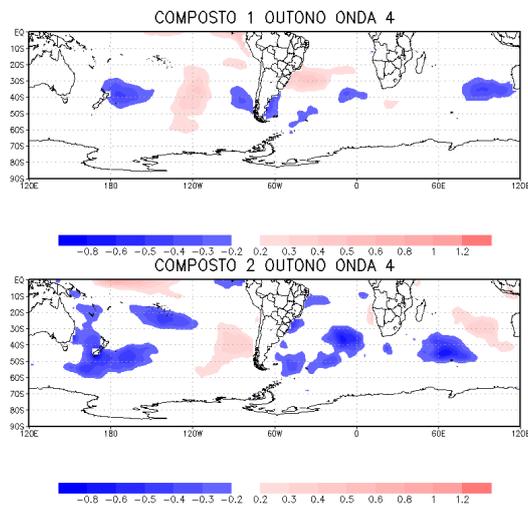


Figura A.30 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de outono da OE 4, conforme Tabela 6.8.

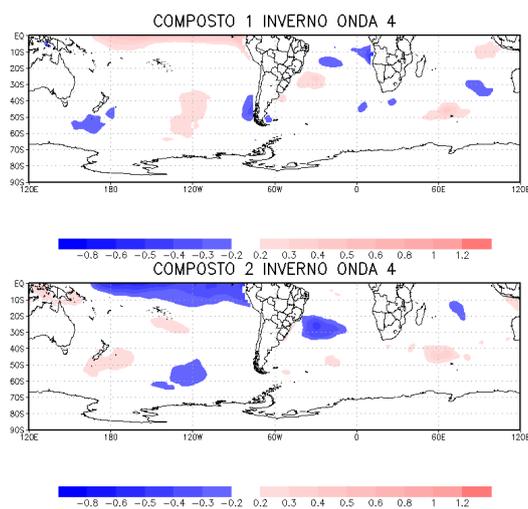


Figura A.31 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de inverno da OE 4, conforme Tabela 6.8.

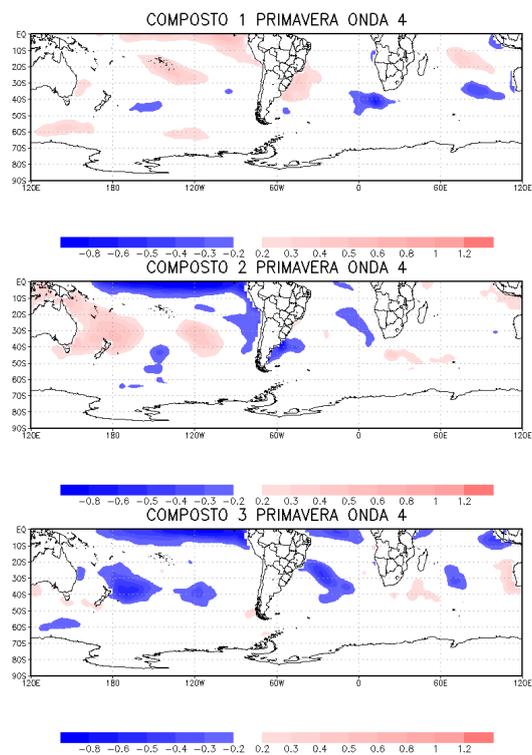


Figura A.32 - Média das anomalias mensais de TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os compostos de primavera da OE 4, conforme Tabela 6.8.



## APÊNDICE B - ARTIGO SUBMETIDO

### B.1 ARTIGO

# **The Southern Hemisphere stationary waves and the February 2005 drought in northern La Plata basin**

Lizandro Gemiacki <sup>1</sup>

National Institute of Meteorology, Belo Horizonte, MG, Brazil

Iracema Fonseca Albuquerque Cavalcanti

Center for Weather Forecasting and Climate Studies/National Institute for Space Research, Cachoeira Paulista, SP, Brazil.

Vadlamudi Brahmananda Rao

Center for Weather Forecasting and Climate Studies/National Institute for Space Research, São José dos Campos, SP, Brazil.

---

<sup>1</sup> *Corresponding author address:* Lizandro Gemiacki, National Institute of Meteorology, Avenida do Contorno 8159, Bairro Santo Agostinho, Belo Horizonte –Minas Gerais –Brazil CEP 30110- 051  
E-mail: [lizandro.gemiacki@inmet.gov.br](mailto:lizandro.gemiacki@inmet.gov.br)

## Abstract

An extreme drought occurred in northern La Plata basin, including southern Brazil, in February 2005, affecting the social and economic sectors of the country. Anomalous atmospheric conditions indicated strong ascent in the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) displaced northwards and subsidence over the dry region. Anomalous moisture fluxes indicated favorable / unfavorable conditions for precipitation in these regions. During this month, intense amplification of stationary wave number three favored a blocking high around southern South America, and waves six and eight had anomalously high amplitudes at 30°S, with the ridges over southeastern South America. The large-scale conditions indicated tropical convection anomalies over Indonesia/western Pacific likely related to the enhancement of the stationary waves. These conditions affected the northern sector of La Plata basin, reducing the precipitation there and enhancing convection in the northward-displaced SACZ.

Keywords: drought, anomalous precipitation, anomalous stationary waves, atmospheric fields, South America

## 1. Introduction

Extremely dry conditions occurred in northern La Plata basin, including southern and part of southeastern Brazil in February 2005, which caused large social and economic impacts in the country. In Rio Grande do Sul, the southernmost Brazilian state, there were emergency situations in 377 locations, affecting six million people. 40% of the grain crop was lost, mainly soy, corn and beans, with an economic loss around a billion dollars (information obtained from CONAB, the national crop-supply agency). Dry conditions over southern Brazil occur normally in La Nina years, but no La Nina was evident in February in the Pacific Ocean. Therefore other features influenced the drought in the region.

Extreme droughts have occurred in South America in the first decade of the 21<sup>st</sup> century, for example the drought in central and southeastern Brazil in 2001 (Cavalcanti and Kousky, 2004; Drumond and Ambrizzi, 2005; Franchito et al. 2008), the droughts in Amazonia in 2005 and 2010 (Marengo et al. 2008, Zeng et al. 2008; Lewis et al. 2011) and the extended drought in Southeastern South America in 2008/2009 (Cavalcanti, 2012). Dry conditions normally prevail during La Nina years in Southern Brazil, Argentina, Paraguay and Uruguay, while there is higher than normal precipitation in Northeastern Brazil (Grim et al. 2000; Rao et al. 2002). El Nino years present opposite conditions in these northern and southern regions.

The drought that caused an energy crisis in Central and Southeastern Brazil during 2001 was related to larger than normal frequency of upper level cyclonic vortices over the tropical continental areas, a persistent wave train pattern (Pacific South America type-PSA) with atmospheric circulation anomalies affecting the region, and was also influenced by the Madden and Julian Oscillation (Cavalcanti and Kousky, 2004). Drumond and Ambrizzi (2005) carried out an observational and numerical study of the same drought, investigating the role of different Sea Surface Temperature (SST) forcings observed in the period on the anomalous South American atmospheric circulation. They identified an anticyclonic circulation at low levels over eastern Brazil associated with the moisture flux towards south, resulting in dry conditions in the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) region and excess of rainfall in the southern regions. SST forcing experiments indicated the role of the equatorial and South Pacific Ocean on the anomalous circulation over South America through PSA-type wavetrains. Similar patterns were also identified during the extreme drought of 2008/2009 in La Plata basin, associated with persistent ridges in the region (Cavalcanti, 2012).

Besides the interannual variability related to Pacific SST, other oceanic and atmospheric features are responsible for South American precipitation anomalies. The drought in Amazonia in 2005 was related to the anomalously warm SST in the tropical North Atlantic, weak moisture transport by the trade winds onto the continent and anomalous subsidence, which reduced the convection and precipitation (Marengo et al. 2008). Zeng et al. (2008) discussed the drought in the southern region of Amazonia caused by the positive anomalies in the North Atlantic SST, and also the relative roles of the Atlantic and Pacific Oceans. The influence of the equatorial Pacific Ocean on climate over South America is well known. In El Niño years, the Walker cell is shifted eastward and the subsidence occurs over eastern Amazonia and northeastern Brazil (Kousky et al. 2004). The mechanism of the influence of the tropical North Atlantic in 2005 was related to a Hadley-type meridional circulation, with ascent over the warmer waters and subsidence over Amazonia (Marengo et al. 2008; Coelho et al. 2012). El Niño conditions contributed to the subsidence and reduced precipitation in Amazonia up to January 2005. In February there was wet conditions in several areas of Amazonia and in MAM the Pacific Ocean returned to the normal SST (Coelho et al. 2012). The North Atlantic Ocean remained warmer than normal and the dry conditions in Amazonia returned in April.

Analysis of atmospheric conditions in February 2005 revealed features associated with stationary waves in the Southern Hemisphere, which seem to have contributed to the reduction of precipitation in the region. Two blocking episodes also occurred during that month, influencing the conditions over South America. Anomalies in the stationary waves can produce impacts associated with extreme precipitation due to changes in the atmospheric circulation. Examples of these changes in the Southern Hemisphere are the influence on blocking situations (Trenberth and Mo, 1985, Marques and Rao, 1999; Cavalcanti, 2000); storm track variability (Inatsu and Hoskins, 2004); variations in the Bolivian High-Atlantic Trough (Chen et al. 1999); and variations in the SACZ (Robertson and Mechoso, 2000). In blocking situations, waves one and three are amplified, as shown in Marques and Rao (1999). Negative precipitation anomalies were identified in the blocking area, while increased precipitation was observed to the north (Marques and Rao, 1999). Mendes et al. (2008), using reanalysis data, found precipitation anomalies over South America in different seasons associated with South Pacific and South Atlantic blocking. They showed negative values of precipitation rate anomalies over northeastern and also over central and southeastern Brazil in DJF during Southeast Pacific blocking events.

In this study, the atmospheric anomalies and stationary wave behavior during February 2005 are investigated in relation to the extreme drought condition that occurred in northern La Plata Basin, along with discussion of the associated mechanisms.

## 2. Data and method

The analyses were performed using GPCP precipitation data (Adler et al. 2003) and reanalysis-2 NCEP-DOE (Kanamitsu et al. 2002) monthly variables of geopotential, omega, zonal and meridional wind from 1000 to 100 hPa and sea level pressure (SLP) during the period 1979-2006. Outgoing Longwave Radiation (OLR) was obtained from Liebmann and Smith (1996) dataset. Sea Surface Temperature (SST) was taken from the Extended Reconstructed Sea Surface Temperature database /NOAA (Smith et al. 2008). Anomalies of variables were calculated using the climatology of this period. NCEP-DOE Reanalysis 2 data were provided by NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, from their Web site at <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>. Vertically integrated humidity flux between 1000 and 300 hPa was calculated from the wind and specific humidity fields. Stationary waves and percentages of amplitudes were calculated with a Fourier analysis of geopotential at 200 hPa for the period of 1979 to 2006, using the equation  $\overline{\Phi}_k^* = A_k(\phi, p) \cos[k\lambda + \alpha_k(\phi, p)]$ .  $\overline{\Phi}^*$  is the geopotential of zonal wavenumber  $k$ ,  $A_k$  is the amplitude and  $\alpha_k$  is the phase, at latitude  $\phi$  and pressure  $p$ . The amplitudes of stationary waves in February 2005 were analyzed and compared to the climatological structure. The percentage of amplitude contributed by each wave is calculated as  $P = (A_k / A_t) \cdot 100\%$ , where  $A_t$  is the amplitude of the whole waves. Similar methodology was used by van Loon and Jenne (1972), Quintanar and Mechoso (1995) and Rao et al. (2004).

## 3. Precipitation anomalies and atmosphere and ocean conditions

Large negative precipitation anomalies were observed over central and southern Brazil, while positive anomalies occurred over eastern Brazil, extending to the Atlantic Ocean in February 2005 (Figure 1a). This configuration, typical of a northward-displaced SACZ, also exhibited the precipitation dipole anomalies that accompany this system (Cunningham and Cavalcanti, 2006). The anomalous positive Sea Level Pressure (SLP), stronger over the southwestern Atlantic was related to anomalous anticyclonic circulation of a blocking feature, which is discussed later (Figure 1b). Lower than normal SLP was identified in the oceanic SACZ region where ascending motion occurred in a NW-SE band, consistent with the

precipitation excess in that area, while subsidence over southern Brazil inhibited convection there (Figure 1c).

Anomalous vertically integrated moisture fluxes were dominant over eastern South America, in a cyclonic configuration (Figure 1d), opposite to the normal climatological configuration that brings humidity from the Atlantic and Amazonia region towards central and southeastern/southern Brazil during summer months (Vera et al. 2006; Raia and Cavalcanti, 2008). During February 2005, the anomalous moisture flux northwards over south, southeast and central Brazil indicated less humidity to these regions. Herdies et al. (2002) discussed the influence of the moisture flux towards southeastern or southern Brazil associated with the occurrence of a SACZ regime and a non- SACZ regime. Drumond and Ambrizzi (2008) also showed the anomalous moisture flux associated with precipitation anomalies in the SACZ and to the south. In the present study, the moisture flux anomalies are associated with the SACZ displaced northwards and dry conditions over southern Brazil.

The geopotential anomaly field showed an anomalous ridge over extreme southern South America, and two troughs in the north, over the eastern and western coasts of the continent (Figure 2a). This configuration reflects the blocking episodes which occurred during this month over the Southeastern Pacific and the South Atlantic. During days 13 to 22 a blocking situation occurred over the Atlantic Ocean. For this case, documented in CLIMANALISE (2005), the consequences were a reduction in the frequency of frontal systems over Brazil as well as a displacement of the SACZ northward. The weak fronts that moved rapidly from the south toward the eastern South American coast were intensified farther north by the moisture from the tropical region, resulting in an intensification of the SACZ to the north of the climatological position. During days 23 to 28 another blocking episode occurred over the southeastern Pacific. The Pacific and Atlantic blockings are identified in the zonally asymmetric geopotential anomalies, which show a trough (lower latitudes) and a ridge (higher latitudes) at the same longitude (Figure 2b,c). In both periods there was an anomalous ridge over central South America and troughs over South Pacific and South Atlantic around South America. Dry conditions over Central and Northeastern Brazil in the austral summer were associated with blocking occurrences in Southeastern Pacific (Mendes et al. 2008).

The amplitudes of waves one to ten (climatology and February 2005) are shown in Figure 3. The climatological wavenumber 1 is dominant at 30°, 45°, 60° and 75°S, followed by wavenumber four at 30°S and wavenumber three at 45° and 60°S. The dominance of wave one and three was mentioned in previous studies such as Trenberth (1980) and van Loon and

Jenne (1972). In February 2005 the largest amplitudes at 60°S and 75°S are found in waves 1 and 3. The amplitude of wave three at 60°S and 75°S is enhanced in February 2005 compared to climatology and is larger at 75°S than that of wave one, which is the dominant climatological wave number in the Southern Hemisphere (Trenberth, 1980). At 45°S wave three also has higher amplitude than climatology in February 2005. At 30°S waves six and eight, which have very small climatological amplitudes compared to the other long waves, show higher amplitudes in February 2005. Compared to February of other years during the period 1979 to 2006, the amplitudes of these waves in February 2005 presented maximum values (Figure 4a,b,c).

A dominance of wavenumber three is identified at high latitudes in Figure 1d, which is consistent with the high amplitude of this wave in February, as shown in Figure 3. A relation between blocking and wavenumber three was discussed by Trenberth and Mo (1985) and a relation between precipitation over South America and blocking was mentioned in Cavalcanti (2000). The anomalous wavenumber three in extratropical latitudes in February 2005 compared to climatology is shown in Figure 5. This wave had more than twice the climatological amplitude between 40°S and 70°S and extends from the low levels to the stratosphere. Comparing Figure 5d with Figure 1d we can recognize the influence of wave three on the total field and on the persistent ridge over extreme southern South America.

Wavenumbers six and eight, which had large amplitudes in February compared to climatology (Figure 3a) at 30°S, display ridges over northern Argentina, central and southern Brazil, Uruguay and Paraguay, in February 2005 (Figure 6). These are cyclogenetic regions (Gan and Rao 1991) and also regions with high frequency of mesoscale convective systems, mainly in the summer (Velasco and Fritsch, 1987). The influence of the combined ridges of waves six and eight over the region enhanced the subsidence and the atmospheric stability, reducing the intensity of synoptic and mesoscale systems and thus contributing to the anomalous precipitation. In Kalnay et al. (1986) small-scale stationary waves at low latitudes were also identified in the Southern Hemisphere with impacts over South America. They investigated the origin of these waves and found their relationship with tropical heating and also the contribution of convection associated with the waves in their maintenance.

Blocking occurrence over Southeast Pacific was related to tropical heating in Renwick and Revell (1999). They identified Rossby wavetrains forced by tropical convection and their influence on blocking to the southwest of South America. They also found the Ks wavenumber response to tropical heating, decreasing from wavenumber eight at 20° S to wavenumber two or three at 55°S. Therefore, the presence of anomalous waves 6 and 8 over

South America in the present study is consistent with tropical heating forcing. The relation of quasi-stationary waves forced by tropical heating and blocking, during 1997/1998, was discussed by Rao et al. (2002).

To investigate the relations of tropical anomalies on the stationary waves and blocking in February 2005, SST, OLR and upper wind anomalies are analyzed. Positive SST anomalies occurred in the equatorial Pacific around the date line, in the western Indonesia/Indian Ocean and also at mid latitudes of South Pacific (Figure 7a). Pacific South America (PSA) wavetrains from the Indian Ocean and western Pacific towards South America were related to anomalous SST in Drumond and Ambrizzi (2008). In that study, although the forcing regions were also Indian Ocean and the western Pacific, the position of the anomalous SST were different from the present study. The wavetrains were associated with drought conditions in the SACZ and wet conditions to the south.

Strong positive OLR anomalies over Indonesia indicate less than normal convection over this region, and negative OLR anomalies over western tropical Pacific extending southeastward indicate strong convection in the South Pacific Convergence Zone (SPCZ) (Figure 7b). Connections of strong SPCZ and SACZ with the presence of short-scale stationary waves were also found by Kalnay et al. (1986). In Figure 7c wavetrains from the tropical regions are related to the anomalous circulation around South America. In the anomalous streamlines it is also possible to identify wavenumber six at subtropical latitudes and wavenumber three at high latitudes.

#### **4. Conclusion**

In February 2005, Southern Hemisphere extratropical and subtropical anomalies associated with atmospheric stationary waves provided unfavorable conditions for precipitation in southern Brazil, where a severe drought occurred. On the other hand, the SACZ was displaced northward, where mudslides and flooding occurred associated with the persistent rainfall. The blocking conditions in two episodes during this month, which were related to reduction of synoptic and mesoscale system influences over southern Brazil, displayed a strong contribution of wavenumber three, which enhanced the blocking high. Blocking episodes over the South Atlantic and Southeastern Pacific during different periods were reflected in the monthly anomalies. In addition, there was an influence of wavenumbers six and eight over the continent, providing subsidence over the region. These features contributed also to the displacement of the SACZ northward of its normal position favoring

persistent rainfall and flooding in that region. The anomalies of stationary waves three, six and eight were likely related to tropical convection forcing over Pacific and Indonesia, which enhanced the waves and the blocking configuration close to South America. The large amplitude of wave three that intensified the blocking highs, and the large amplitude of waves six and eight that increased the subsidence and high pressure over southeastern South America, had an important influence on the drought conditions over these regions.

*Acknowledgements.* The first author thanks CNPq and CAPES for the scholarships provided during part of the period of this research. Thanks also to CLARIS LPB: A Europe-South America Network for Climate Change Assessment and Impact Studies in La Plata Basin for research support (IFAC) and to CNPq research grants (IFAC and VBR). NOAA\_ERSST\_V3 data was provided by the NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA, from their Web site at <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>.

## References

- Adler, R.F., Huffman, G.J., Chang, A., Ferraro, R., Xie, P., Janowiak, J., Rudolf, B., Schneider, U., Curtis, S., Bolvin, D., Gruber, A., Susskind, J., Arkin, P., Nelkin, E., 2003. The version 2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979- present). *J. Hydromet.* 4, 1147–1167.
- Cavalcanti, I.F.A., 2012. 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. *Atmos. Resea.* 118,27-40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.06.012>.
- Cavalcanti, I.F.A., 2000. Teleconnection patterns orographically induced in model results and from observational data in the austral winter of the southern hemisphere. *Inter. J. Clim.* 20, 1191-1206.
- Cavalcanti, I.F.A., Kousky, V.E. 2004. Drought in Brazil during summer and fall 2001 and associated atmospheric circulation features. *Revista Climanalise.* 2, 1–10. (INPE-11894-PRE/7241). Available in <http://urlib.net/cptec.inpe.br/walmeida/2004/12.07.14.17>.
- Chen, T.C., Weng, S.P., Schubert, S., 1999. Maintenance of Austral Summertime Upper-Tropospheric Circulation over Tropical South America: The Bolivian High–Nordeste Low System. *J. Atmos. Sci.* 56, 2081–2100.

- CLIMANALISE, 2005. 20,2 ([www.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0205/index.htm](http://www.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0205/index.htm)).
- Coelho, C.A. S., Cavalcanti, I.F.A., Costa, S. M. S., Freitas, S., Ito, E.R., Luz, G., Santos, A.F., Nobre, C.A., Marengo, J.A., Pezza, A.B., 2012. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. *Met.Appl.* 19, 237-255.
- Cunningham, C.C., Cavalcanti, I.F.A., 2006. Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. *Inter. J. Clim.* 26, 1165-1180.
- Drumond, A.R., Ambrizzi, T., 2008. The role of the South Indian and Pacific oceans in South American monsoon variability. *Theor. Appl. Climatol.* 94, 125–137.
- Drumond, A.R., Ambrizzi, T. 2005. The role of SST on the South American atmospheric circulation during January, February and March 2001. *Clim. Dyn.* 24, 781–791.
- Franchito, S.H., Rao, V.B., Barbieri, P.R.B., Santo, C.M.E., 2008. Rainy-Season Duration Estimated from OLR versus Rain Gauge Data and the 2001 Drought in Southeast Brazil. *J.App. Met.Clim.* 47, 1493–1499.
- Gan, M.A., Rao, V.B., 1991. Surface Cyclogenesis over South America. *Mon. Wea. Rev.* 119, 1293–1302.
- Grimm, M.A., Barros, V. R., Doyle, M.E., 2000. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Clim.* 13, 35–58.
- Herdies, D., Silva, A., Silva Dias, M.A.F., Ferreira, R.N., 2002. Moisture budget of the bimodal pattern of the summer circulation over South America. *J. Geophys. Resea.* Vol.107 NO. D20, 8075, doi:10.1029/2001JD000997.
- Inatsu, M., Hoskins, B.J., 2004. The Zonal Asymmetry of the Southern Hemisphere Winter Storm Track. *J.Clim.* 17, 4882–4892.
- Kalnay, E., Mo, K.C., Paegle, J., 1986. Large scale, short-scale stationary Rossby waves in the Southern hemisphere: Observations and mechanistic experiments to determine their origin. *J. Atmos. Sci.* 43, 252-275.
- Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S-K, Hnilo, J.J., Fiorino, M., Potter, G.L., 2002. NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 83, 1631–1643.

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

Lewis, S., Brando, P.M., Phillips, O.L., van der Heijden, G.M.F., Nepstad, D., 2011. The 2010 Amazon Drought, *Science*. 331, 554. DOI: 10.1126/science.1200807

Liebmann, B., Smith, C. A., 1996. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 77, 1275–1277.

Marengo, J. A., Nobre, C.A., Tomasella, J., Oyama, M.D., Oliveira, G.S., Oliveira, R., Camargo, H., Alves, L.M., Brown, I.F., 2008. The Drought of Amazonia in 2005. *J.Clim.* 21, 495–516.

Marques, R.F.C., Rao, V.B., 1999. A Diagnosis of a Long-Lasting Blocking Event over the Southeast Pacific Ocean. *Mon. Wea. Rev.* 127, 1761-1776.

Mendes, M.C.D., Trigo, R.M., Cavalcanti, I.F.A., DaCamara, C.C., 2008. Blocking Episodes in the Southern Hemisphere: Impact on the Climate of Adjacent Continental Areas. *P. Appl. Geophy.* 165, 1-22, doi 10.1007/s00024-008-0409-4.

Quintanar, A. I., Mechoso, C. R., 1995. Quasi-stationary waves in the southern hemisphere. part I: Observational data. *J. Clim.* 8, 2659–2672,

Raia, A., Cavalcanti, I.F.A., 2008. The life cycle of the South America Monsoon System. *J.Clim.* 21, 6227-6246.

Rao, V.B., Fernandez, J.P.R., Franchito, S.H., 2004. -  
. *Anna. Geophys.* 22, 789–806.

Rao, V.B., Chapa, S.R., Fernandez, J.P.R., Franchito, S.H., 2002: A Diagnosis of Rainfall over South America during the 1997/98 El Niño Event. Part II: Roles of Water Vapor Transport and Stationary Waves. *J. Clim.* 15, 512–521.

Renwick, J. A., Revell, M. J., 1999. Blocking over the South Pacific and Rossby wave propagation, *Mon. Wea. Rev.* 127, 2233–2247.

Robertson, A.W., Mechoso, C.R., 2000. Interannual and Interdecadal Variability of the South Atlantic Convergence Zone. *Mon. Wea. Rev.* 128, 2947–2957.

Smith, T.M., Reynolds, R.W., Peterson, T.C., Lawrimore, J., 2008. Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880 – 2006). *J.Clim.* 21, 2283 – 2296.

Trenberth, K.F., 1980. Planetary waves at 500 hPa in the Southern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.* 108, 1378-1389.

Trenberth, K.F., Mo, K.C., 1985. Blocking in the Southern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.* 113, 3–21.

van Loon, H., Jenne, R. L., 1972. The zonal harmonic standing waves in the southern hemisphere. *J. Geophys. Res.*, v. 77, p. 992–1033.

Velasco, I., Fritsch, J.M., 1987. Mesoscale convective complexes in the Americas. *J. Geophys. Res.* 92, 9591-9613.

Vera, C.S., Higgins, W., Amador, J., Ambrizzi, T., Garreaud, R., Gochis, D., Gutzler, D., Lettenmaier, D., Marengo, J.A., Mechoso, C.R., Nogues-Paegle, J., Silva Dias, P.L., Zhang, C., 2006. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. *J. Clim.* 19, 4977–5000.

Zeng, N., Yoon, J.H., Marengo, J.A., Subramaniam, A., Nobre, C.A., Mariotti, A., Neelin, D., 2008. Causes and impacts of 2005 Amazon drought. *Environ. Res. Lett.* 3, doi: 10.1088/1748-9326/3/1/014002.

### List of Figures

Figure 1. Anomaly fields for February 2005 (a) precipitation anomaly (mm), (b) Sea Level Pressure (hPa), (c) omega at 500 hPa (Pa/s), (d) vertically integrated humidity flux anomaly (kg/m.s), (climatology is taken from 1979 to 2006).

Figure 2. (a) Geopotential anomaly at 200 hPa (m<sub>g</sub>p) for February 2005. Zonally asymmetric component of geopotential (m<sub>g</sub>p) at 200 hPa during the two blocking periods (b) 13-22 February 2005, (c) 23-28 February 2005.

Figure 3. Percentage of geopotential amplitudes at 200 hPa contributed by each wave in February 2005 compared to climatology (a) 30°S, (b) 45°S, (c) 60°S, (d) 75°S.

Figure 4. Interannual variability of wave amplitude in February of (a) wavenumber three at 60°S, (b) wavenumber six at 30°S; (c) wavenumber eight at 30°S.

Figure 5. (a) Vertical structure of climatological wave three amplitude, (b) vertical structure of wave three amplitude in February 2005, (c) climatological wave three structure of geopotential at 200 hPa, (d) wave three structure of geopotential at 200 hPa in February 2005.

Figure 6. Fields for February 2005 (a) Vertical structure of wave six amplitude, (b) Vertical structure of wave eight amplitude, (c) wave six structure of geopotential at 200 hPa (m<sub>g</sub>p), (d) wave eight structure of geopotential (m<sub>g</sub>p) at 200 hPa.

Figure 7. Fields for February 2005 (a) SST anomaly (°C), (b) OLR anomaly (W/m<sup>2</sup> shaded), (c) wind anomaly streamlines at 200 hPa (m/s).

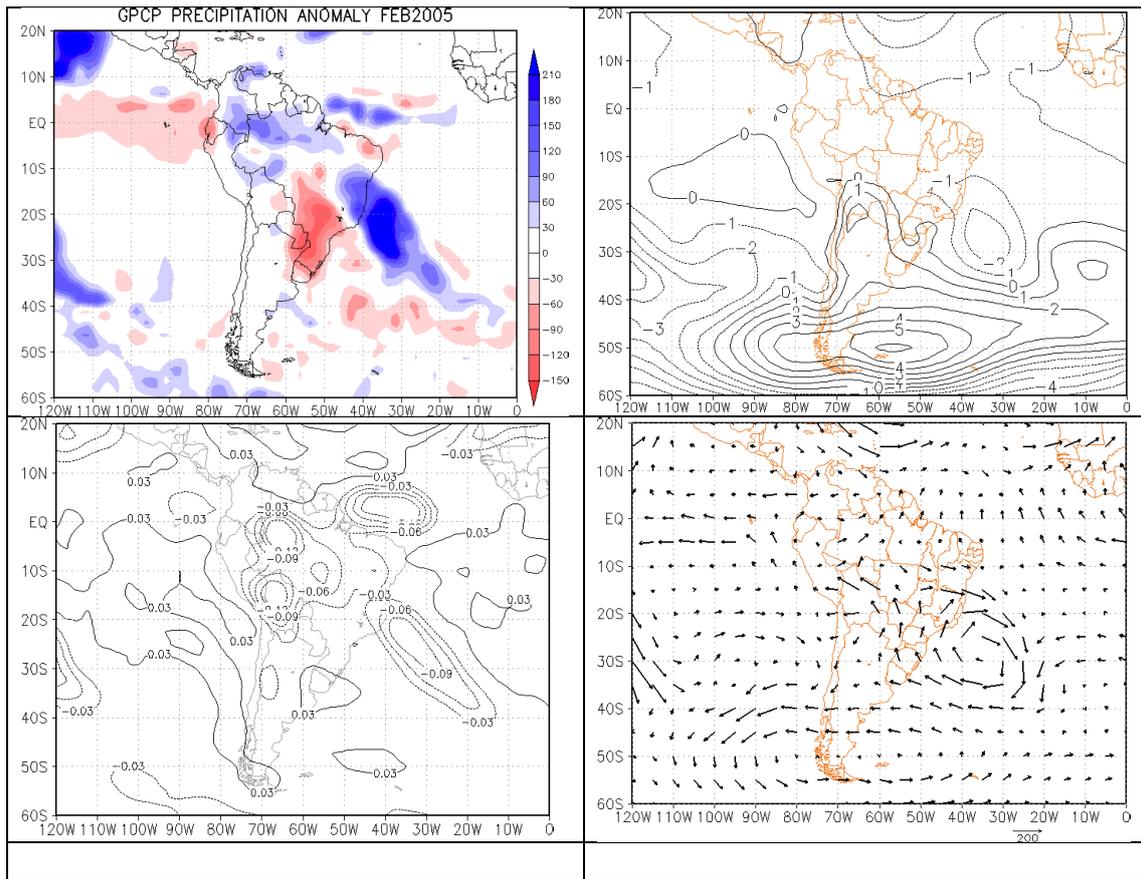


Figure 1. Anomaly fields for February 2005 (a) precipitation anomaly (mm), (b) Sea Level Pressure (hPa), (c) omega at 500 hPa (Pa/s), (d) vertically integrated humidity flux anomaly (kg/m.s), (climatology is taken from 1979 to 2006).



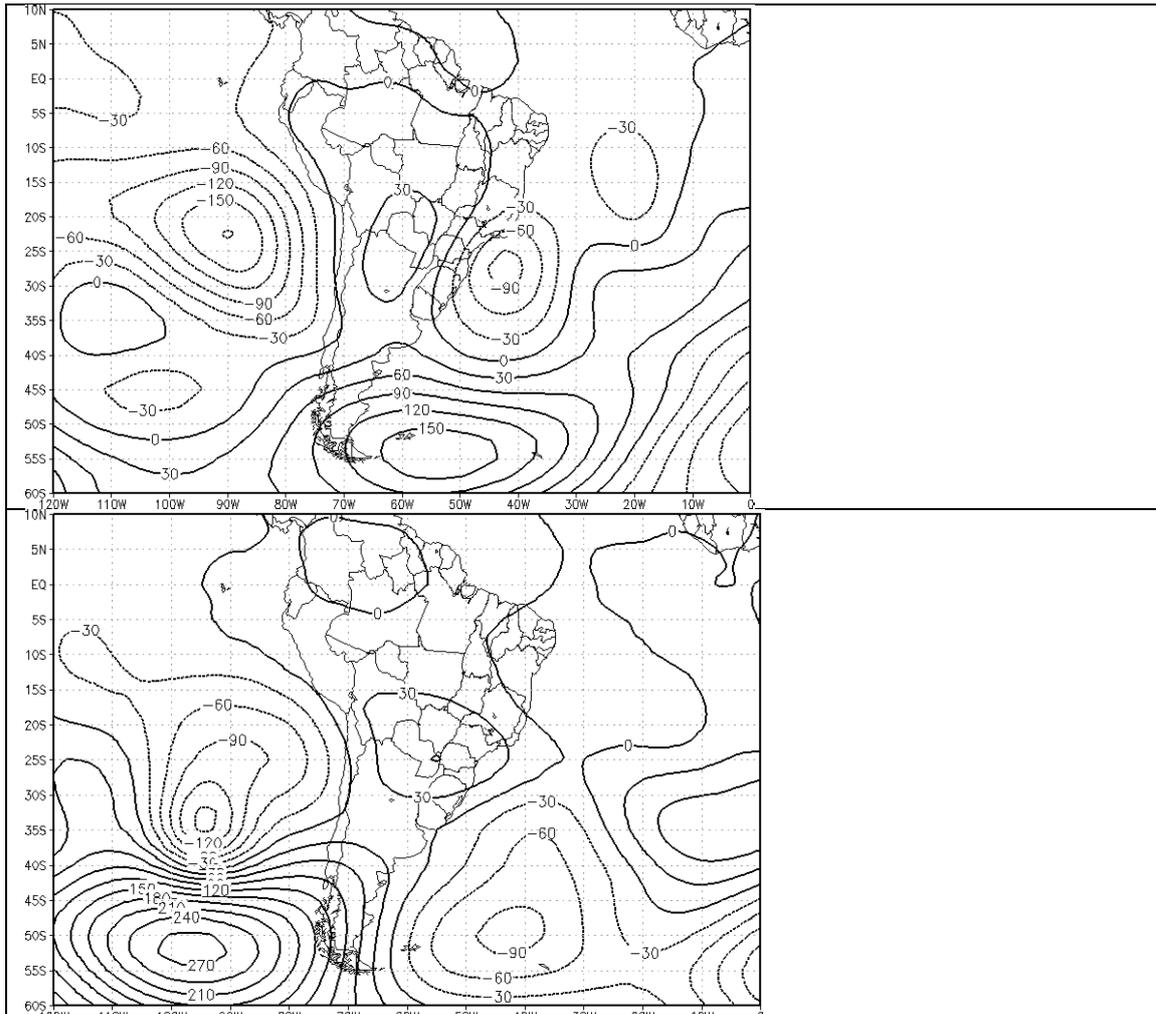


Figure 2. (a) Geopotential anomaly at 200 hPa (mgp) for February 2005. Zonally asymmetric component of geopotential (mgp) at 200 hPa during the two blocking periods (b) 13-22 February 2005, (c) 23-28 February 2005.

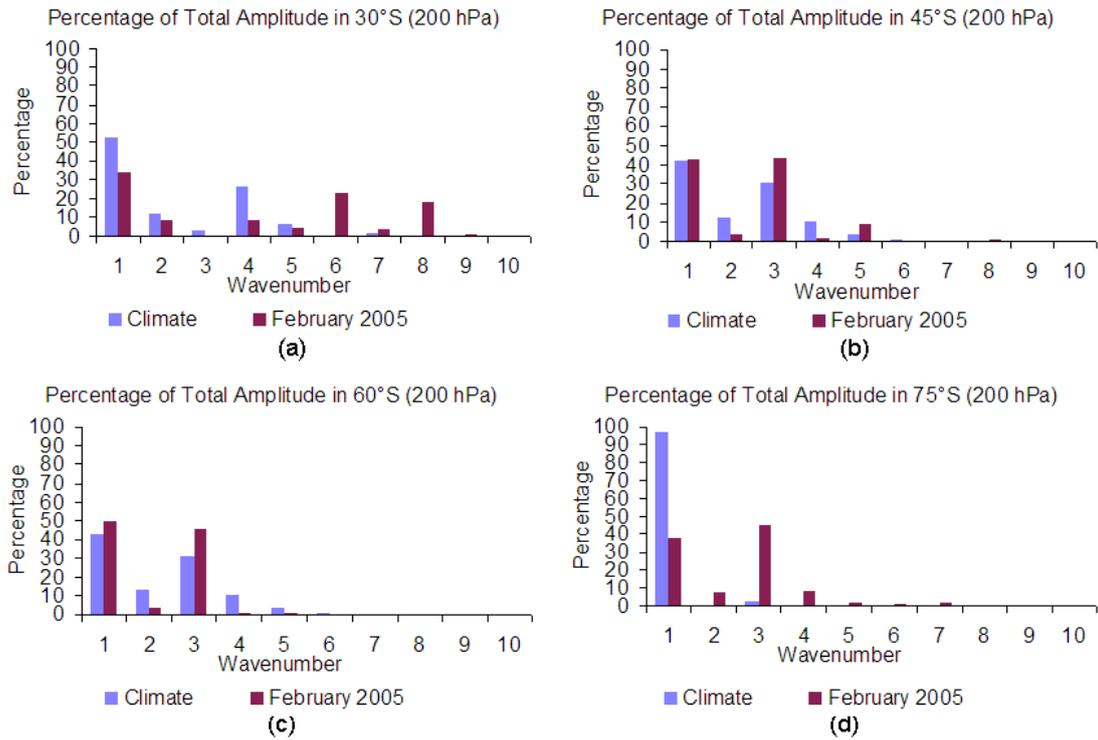
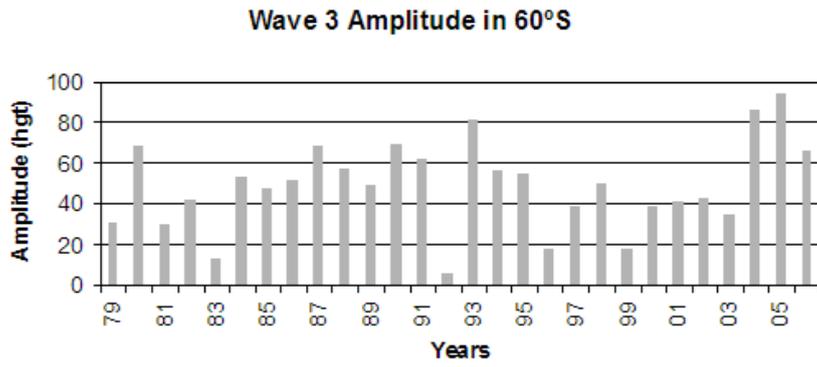
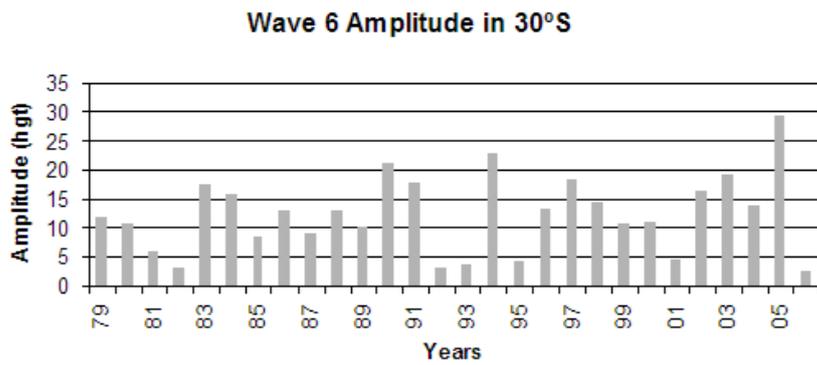


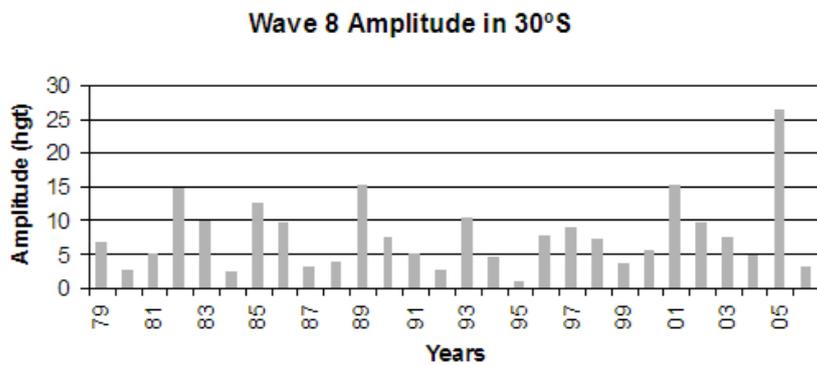
Figure 3. Percentage of geopotential amplitudes at 200 hPa contributed by each wave in February 2005 compared to climatology (a) 30°S, (b) 45°S, (c) 60°S, (d) 75°S.



(a)



(b)



(c)

Figure 4. Interannual variability of wave amplitude in February of (a) wavenumber three at 60°S, (b) wavenumber six at 30°S; (c) wavenumber eight at 30°S.

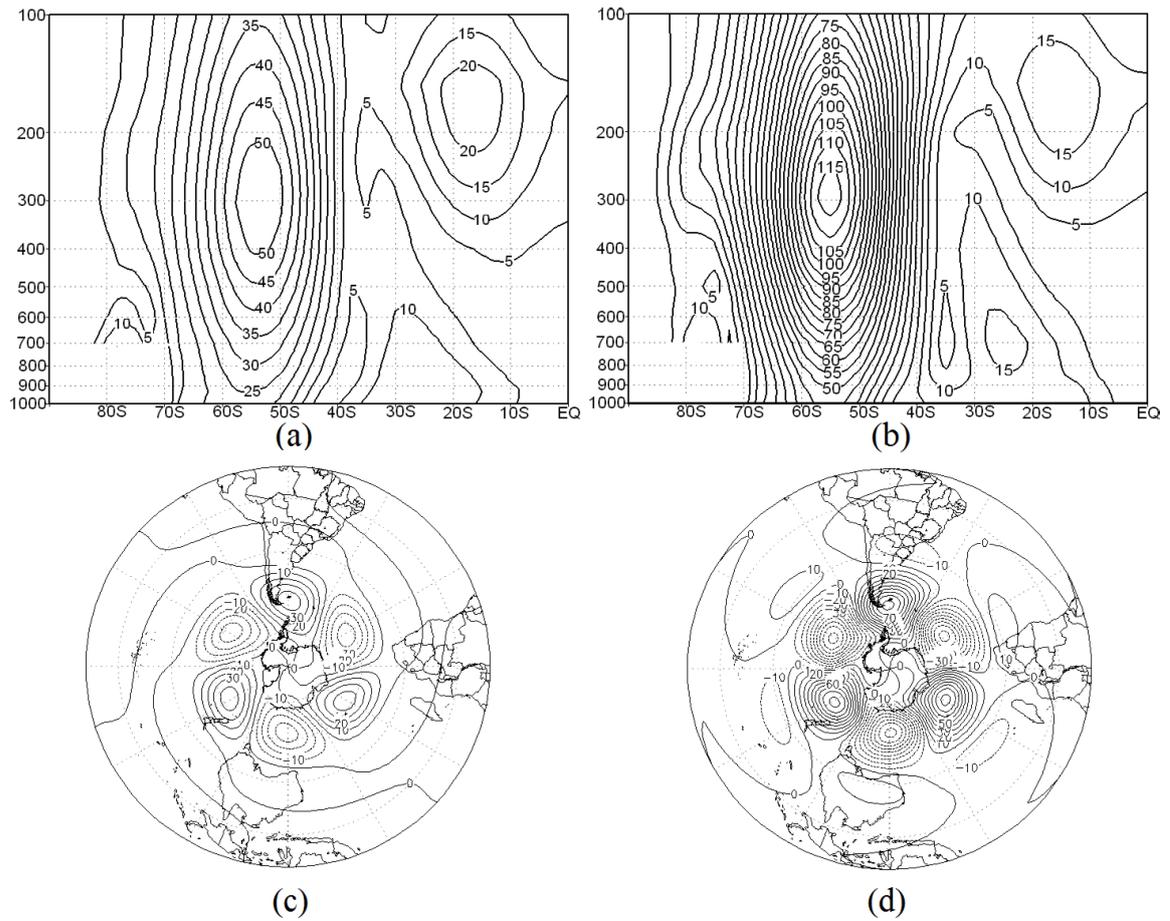


Figure 5. (a) Vertical structure of climatological wave three amplitude, (b) vertical structure of wave three amplitude in February 2005, (c) climatological wave three structure of geopotential at 200 hPa, (d) wave three structure of geopotential at 200 hPa in February 2005.

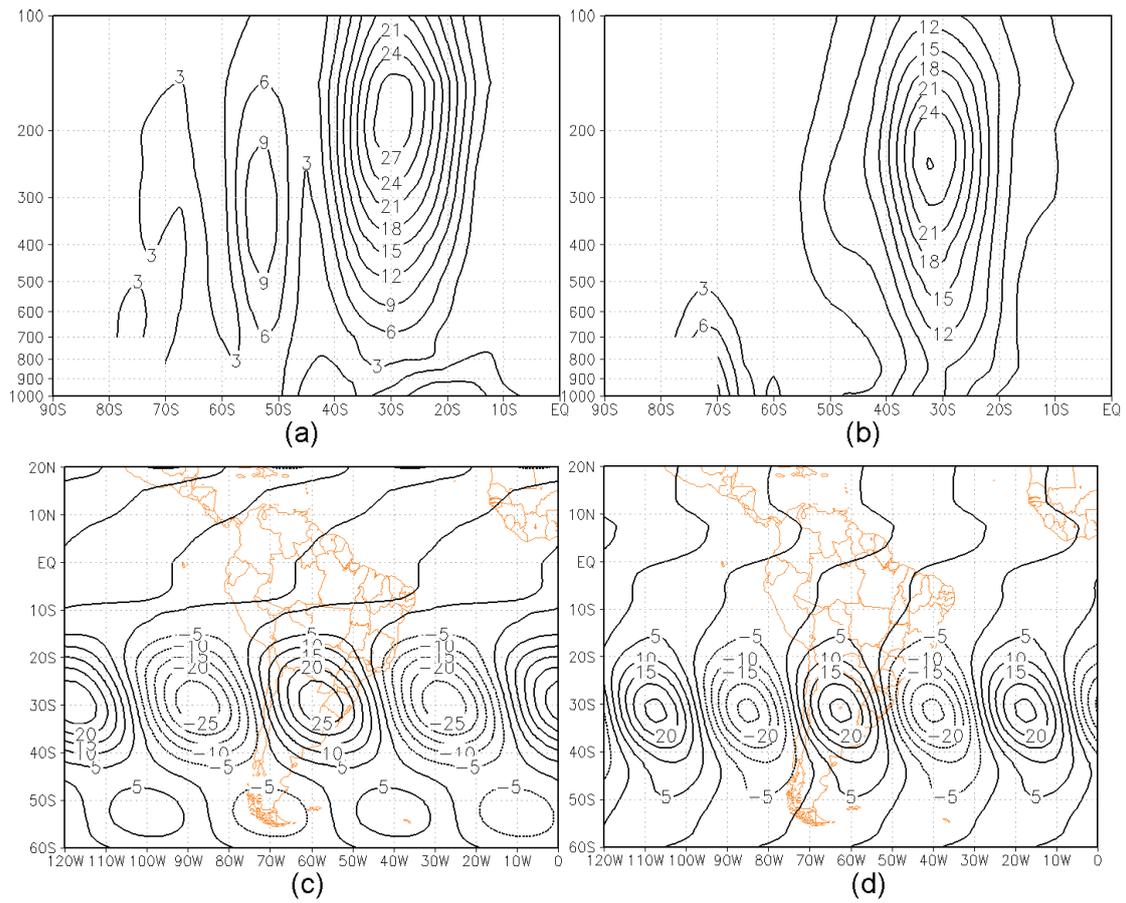


Figure 6. Fields for February 2005 (a) Vertical structure of wave six amplitude, (b) Vertical structure of wave eight amplitude, (c) wave six structure of geopotential at 200 hPa (mgs), (d) wave eight structure of geopotential (mgs) at 200 hPa.

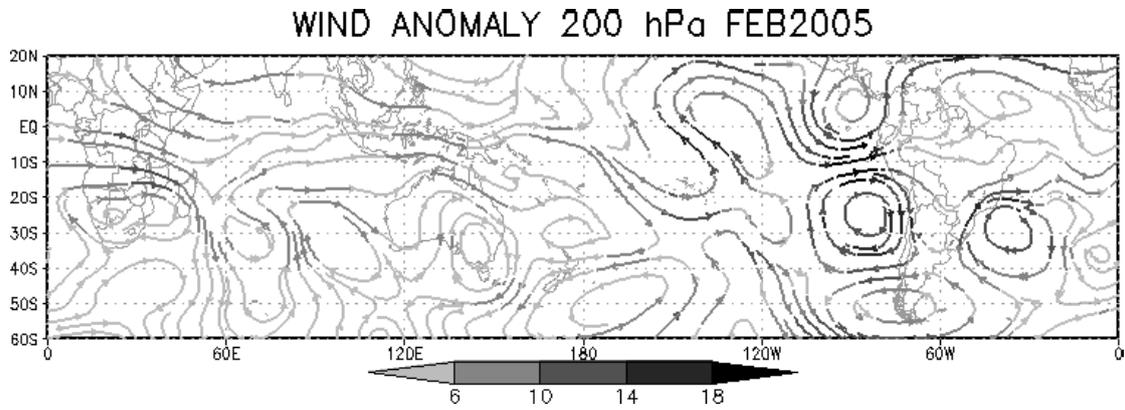
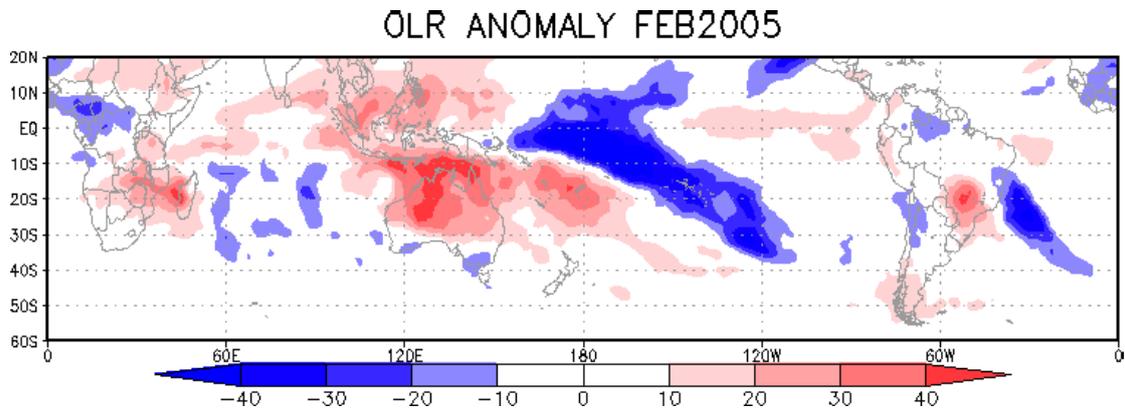
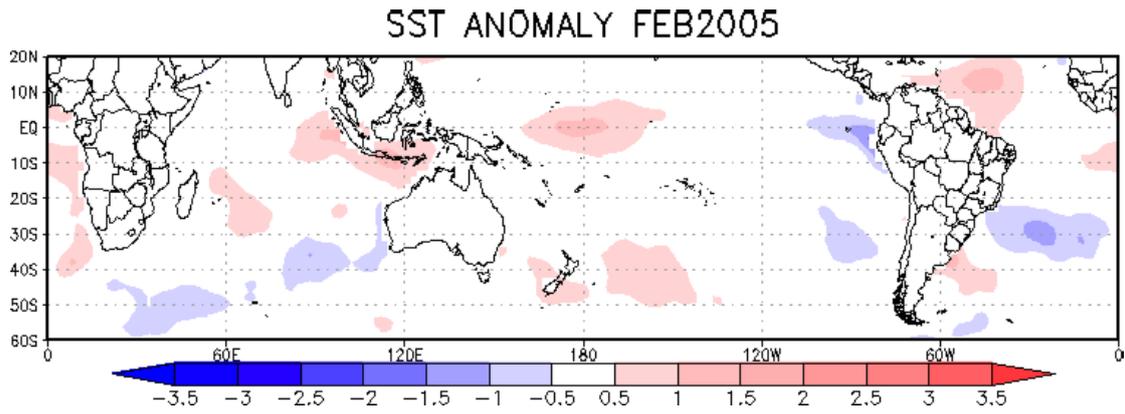


Figure 7. Fields for February 2005 (a) SST anomaly ( $^{\circ}\text{C}$ ), (b) OLR anomaly ( $\text{W}/\text{m}^2$  shaded), (c) wind anomaly streamlines at 200 hPa ( $\text{m}/\text{s}$ ).



## PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Contam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.