



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.12.19.07-TDI

CARACTERÍSTICAS SINÓTICAS E ESTATÍSTICAS DE EVENTOS QUENTES E SECOS (EQS) NO SUDESTE DO BRASIL, DURANTE O INVERNO

Serafim Barbosa de Sousa Júnior

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada
pelo Dr. José Paulo Bonatti, aprovada em 25 de fevereiro de 2011

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/396HTES>>

INPE
São José dos Campos
2011

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:

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

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

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

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

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

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:

Vivéca Sant'Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.12.19.07-TDI

CARACTERÍSTICAS SINÓTICAS E ESTATÍSTICAS DE EVENTOS QUENTES E SECOS (EQS) NO SUDESTE DO BRASIL, DURANTE O INVERNO

Serafim Barbosa de Sousa Júnior

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada
pelo Dr. José Paulo Bonatti, aprovada em 25 de fevereiro de 2011

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/396HTES> >

INPE
São José dos Campos
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sousa Júnior, Serafim Barbosa de.
So85c Características sinóticas e estatísticas de Eventos Quentes e Secos (EQS) no sudeste do Brasil, durante o inverno / Serafim Barbosa de Sousa Júnior. – São José dos Campos : INPE, 2011. xxvi+114 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.12.19.07-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

Orientador : Dr. José Paulo Bonatti.

1. Eventos quentes e secos. 2. Sinótica . 3. Estatística. 4. Funções Ortogonais Empíricas (EOF). I.Título.

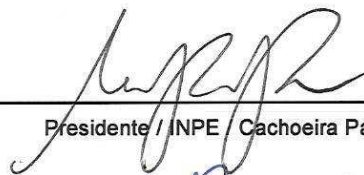
CDU 551.583.16

Copyright © 2011 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 © 2011 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 Mestre em
Meteorologia

Dr. Marcelo Barbio Rosa



Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. José Paulo Bonatti



Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dra. Rosa de Fátima Cruz Marques



Convidado(a) / IAE/CTA / SJCampos - SP

Aluno (a): Serafim Barbosa de Sousa Júnior

São José dos Campos, 25/02/2011

“Não há vitória sem sacrifícios extremos”

Adaptado de Sun Tzu (A arte da Guerra).

A minha esposa, meus pais e irmãos,
Nivea Cristina Sena Costa
Serafim Barbosa de Sousa,
Maria Raimunda Dias de Sousa,
Sandro e Sidney Dias de Sousa

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda força, luz e sabedoria que me deu ao longo destes anos. A Nossa Senhora da Conceição de Aparecida por ter me dado afeto e proteção em todos os momentos

Ao INPE/CPTEC, por ter me acolhido e dado oportunidade de cursar o Mestrado em uma instituição de excelência no que pauta o estudo das Ciências Atmosféricas.

Aos Doutores Prakki Satyamurty e José Paulo Bonatti, por terem me orientado e contribuído em minha aprendizagem ao longo destes anos, pois como o grande teórico Isaac Newton dizia “...se sou o que sou é por que me escorei no ombro de gigantes...” e eles foram um destes gigantes de minha vida acadêmica.

Aos meus colegas do curso que mesmo estando ocupados sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para o saber.

A minha esposa Nívea Cristina Sena Costa que esteve sempre ao meu lado nas horas felizes e tristes me dando atenção e orientação.

A meus pais, irmãos e minha avó Joana da Silva Dias que sempre torceram por mim e sempre rezaram para que eu tivesse êxito e sucesso. E mesmo estando longe fisicamente estavam próximos espiritualmente.

A Marinha do Brasil por ter me concedido alguns dias de licença por mês para tratar de assuntos referentes à finalização desta dissertação.

A todos os amigos que mesmo estando distante estavam torcendo por min.

RESUMO

Durante o inverno Austral entre os anos de 1989 e 2008 foram estudadas sobre a região Sudeste do Brasil as características sinóticas e estatísticas dos Eventos Quentes e Secos (EQS). A seleção destes eventos foi baseada na anomalia diária de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação. Estes eventos sugerem a causa de desconfortos respiratórios à população que vive nesta região por consequência dos baixos valores de umidade relativa presente na atmosfera, além de déficit hídrico no solo devido à ausência de precipitação. Durante a atuação dos EQS os sistemas meteorológicos transientes que estão relacionados à ocorrência de precipitação e queda da temperatura do ar, são impedidos de progredir até a região estudada, o que favorece a elevação da temperatura do ar, decaindo ainda mais a umidade relativa. Esta dissertação abrangeu os aspectos estatísticos e sinóticos destes eventos. Do ponto de vista estatístico foram encontrados 26 EQS e as anomalias de temperatura do ar, anomalia de umidade relativa e anomalia de precipitação foram em média 3° C, -7 % e -1 mm respectivamente. A frequência destes eventos foi aproximadamente 1(um) caso por ano com duração média de 7 dias. Em média o Índice de Severidade de EQS foi de 4,4 (adimensional) com desvio padrão de 2,9. A análise de variância mostrou um altíssimo grau de significância estatística entre as médias anômalas para o período dos EQS para a temperatura do ar, umidade relativa e precipitação. Foram identificados através de um índice de severidade os três eventos mais intensos e posteriormente foi feita uma análise sinótica destes EQS a fim de se compreender o mecanismo de formação e dissipação associado. O padrão descrito no campo de anomalia de altura de geopotencial em 500 hPa durante o período de atuação sugere a presença de um bloqueio do tipo ômega invertido para o evento II e um bloqueio do tipo dipolo para antes do evento III. A análise do modo dominante da primeira EOF para o campo de temperatura do ar durante os 26 eventos mostrou uma dominância de anomalias positivas sobre o centro oeste, sul e sudeste do Brasil, enquanto que o campo de umidade relativa mostrou um padrão contrário. Os dados utilizados nesta dissertação foram extraídos da reanálises Interim do ECMWF (European Center for Medium Range Forecast) na resolução de 1,5° x 1,5° latitude/longitude. Para a precipitação foram utilizados dados do CPC/NCEP (Climate Prediction Center/National Centers for Environmental Prediction) na resolução de 1° x 1° latitude/longitude. Os campos sinóticos utilizados para identificar e descrever as regiões anômalas das variáveis utilizadas foram também gerados a partir dessa reanálises.

SINOPTIC FEATURES AND STATISTICS OF EVENTS HOT AND DRY (EQS) IN SOUTHEASTERN BRAZIL, DURING THE WINTER

ABSTRACT

During the Austral winter between the years 1989 and 2008 the synoptic features and statistics of Warm and Dry Events (EQS) on the Southeast region of Brazil were studied. These events are characterized by positive anomalies of air temperature, negative anomalies of relative humidity and lack of rainfall during the period of occurrence. The EQS suggest respiratory discomfort to the population by further aggravating the lack of moisture during the winter, besides contributing to the shortage of rain and sudden increase of fires. The synoptic study of these events can promote the operational meteorology since there are no studies on this subject over the southeastern region of Brazil. During the occurrence of EQS transient weather systems that are related to precipitation events and drop in air temperature are prevented from progressing until the study region, which favors the increase of air temperature, further decreasing the relative humidity. These events have three distinct phases: initial stage to say when the temperature increases, the maturation phase when the temperature rises and behaves almost constant and dissipation stage when the temperature decreases. This work covered the synoptic and statistical aspects of these events. From the statistical point of view found 26 EQS and anomalous air temperature, relative humidity anomaly and precipitation anomaly averaged 3 °C, -7% to -1 mm respectively. The frequency of these events was approximately 1 (one) case per year with an average duration of 7 days over. On average the index of severity of EQS was 4.4 (dimensionless) with a deviation of 2.9. The variance analysis showed a high degree of significant between the averages for the period of anomalous EQS for the air temperature, relative humidity and precipitation. They were identified by an index of severity of the three most intense cases of EQS and were later made a synoptic analysis of these events in order to understand the mechanism of formation, maturation and dissipation associated. The pattern described in the field of anomaly of geopotential height at 500 hPa during the period of activity suggests the presence of a block inverted omega II for the event and an amplified ridge-type lock for the case III. The dominant mode of EOF to the field of air temperature during the 26 events showed a dominance of positive anomalies over the Midwest, South and Southeast Brazil, while the field of relative humidity showed an opposite pattern. The air temperature data at the level of 1000 hPa, relative humidity at 1000 hPa, mean sea level pressure, wind at 925 hPa, 500 hPa and 200 hPa geopotential height at 500 hPa and precipitable water used were from Interim reanalysis of the ECMWF (European Center for Medium Range Forecast) with resolution of 1.5 ° x 1.5 ° latitude / longitude. For the precipitation data were used CPC / NCEP (Climate Prediction Center / National Centers for Environmental Prediction) in the resolution of 1 x 1 ° latitude / longitude. The synoptic fields used to identify and describe the phenomenon were generated from the ECMWF Interim reanalysis.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 – Esquema de três tipos padrões de bloqueios no HS. (1) Bloqueio do tipo crista estacionária, (2) bloqueio tipo dipolo e (3) bloqueio do tipo Ômega invertido | 10 |
| Figura 3.1- Área selecionada para estudo. As siglas correspondem a alguns estados Brasileiros e países Sul-americanos como: SP(São Paulo), RJ(Rio de Janeiro), MG (Minas Gerais), ES (Espírito Santo), BRA (Brasil), ARG (Argentina), URU (Uruguai) PAR (Paraguai), BOL (Bolívia) e PER (Peru).. | 12 |
| Figura 3.2 - Diagrama esquemático para seleção dos casos de EQS. 'S' e 'N' representam sim e não respectivamente na tomada de decisões e 't' corresponde ao mês... | 18 |
| Figura 4.1 - Variação mensal do número de casos de EQS sobre o Sudeste Brasileiro durante o inverno. | 25 |
| Figura 4.2 - Variação inter anual dos EQS sobre a região Sudeste do Brasil. | 26 |
| Figura 4.3 – Intensidade dos eventos..... | 27 |
| Figura 5.1- (a) Anomalia mensal de temperatura do ar em superfície (° C) e (b) anomalia mensal de umidade relativa (%) para setembro de 2004..... | 31 |
| Figura 5.4 - Campo de anomalia de pressão ao nível médio do mar (Pa). (a) para os dez dias que antecedem o evento, (b) durante o evento e (c) para dez dias posteriores ao evento. | 35 |
| Figura 5.5 - Campos médios de altura geopotencial (m _g p) em 500 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento. | 37 |
| Figura 5.7 - Campos médios de vento (m.s ⁻¹) em 925 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento. | 40 |
| Figura 5.8 – Campos médios de vento (m.s ⁻¹) em 500 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento..... | 41 |
| Figura 5.9 - Campos médios de vento (m.s ⁻¹) em 200 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 5.10 - Campos médios de água precipitável (kg/m ²). (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para os dez dias posteriores ao evento. | 44 |
| Figura 5.11 - Campos de anomalia de água precipitável (kg/m ²). (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento. | 45 |
| Figura 5.12 - (a) Anomalia mensal de temperatura do ar em superfície (° C) e (b) anomalia mensal de umidade relativa (%) para setembro de 1997. | 46 |
| Figura 5.14 - Campo médio de pressão ao nível médio do mar (hPa). (a) para os dez dias que antecedem o evento, (b) durante o evento e (c) para dez dias posteriores ao evento. | 48 |
| Figura 5.15 - Campo de anomalia de pressão ao nível médio do mar (hPa). (a) para os dez dias que antecedem o evento, (b) durante o evento e (c) para dez dias posteriores ao evento. | 49 |
| Figura 5.16 - Campo médio de geopotencial (m _g p) em 500 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento. | 51 |
| Figura 5.17 - Campos de anomalia de geopotencial (m _g p) em 500 hPa. (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento. | 52 |
| Figura 5.18 - Campos médios de vento (m.s ⁻¹) em 925 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento. | 54 |
| Figura 5.19 - Campos médios de vento (m.s ⁻¹) em 500 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento. | 55 |
| Figura 5.20 - Campos médios de vento (m.s ⁻¹) em 200 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento. | 56 |
| Figura 5.21 - Campos médios de água precipitável (kg/m ²). (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para os dez dias posteriores ao evento. | 58 |
| Figura 5.22 - Campos de anomalia de água precipitável (kg/m ²). (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento. | 59 |
| Figura 5.23 - (a) Anomalia mensal de temperatura do ar em superfície (° C) e (b) anomalia mensal de umidade relativa (%) para junho de 2002. | 60 |

| | |
|--|----|
| Figura 5.25- Campo médio de pressão ao nível médio do mar (hPa). (a) para os dez dias que antecedem o evento, (b) durante o evento e (c) para dez dias posteriores ao evento..... | 62 |
| Figura 5.26 - Campos de anomalia de pressão ao nível médio do mar. (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento. | 63 |
| Figura 5.27- Campo médio de geopotencial (mgp) em 500 hPa. (a) para os dez dias que antecedem o evento, (b) durante o evento e (c) para dez dias posteriores ao evento. | 65 |
| Figura 5.28 - Campos de anomalia de altura geopotencial (mgp) em 500 hPa. (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento. | 66 |
| Figura 5.29 - Campos médios de vento ($m.s^{-1}$) em 925 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento. | 68 |
| Figura 5.30 - Campos médios de vento ($m.s^{-1}$) em 500 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento. | 69 |
| Figura 5.31- Campos médios de vento ($m.s^{-1}$) em 200 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento. | 70 |
| Figura 5.32- Campos médio de água precipitável (kg/m^2). (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para os dez dias posteriores ao evento. | 72 |
| Figura 5.33- Campos de anomalia de água precipitável (kg/m^2). (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento. | 73 |
| Figura 6.1 - Campo médio total de convergência do transporte de umidade ($g/kg/dia$) em 925 hPa. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois..... | 78 |
| Figura 6.2 - Campo médio total do transporte meridional de calor sensível ($m.s^{-1} \text{ } ^\circ K$) em 925 hPa. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois..... | 80 |
| Figura 6.3- Campo médio total do transporte zonal de calor sensível ($m.s^{-1} \text{ } ^\circ K$) em 925 hPa. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois..... | 82 |
| Figura 6.5- Primeira EOF da anomalia de temperatura do ar para o continente com variância explicada de 61,5%, 54,62% e 71,42% para (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente. | 84 |

| | |
|---|----|
| Figura 6.6 - Primeira EOF total da anomalia de temperatura do ar com variância explicada de 33,26%, 32,78% e 39,15% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente. | 85 |
| Figura 6.7 - Primeira EOF da anomalia de umidade relativa para o continente com variância explicada de 26,96%, 34,57% e 25,97% para (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente..... | 87 |
| Figura 6.8 - Primeira EOF total da anomalia de umidade relativa com variância explicada de 15,77%, 26,61% e 16,57% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente..... | 88 |
| Figura 6.9 - Primeira EOF do transporte meridional de momentum para o continente com variância explicada de 26,81%, 39,73% e 23,81% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente..... | 90 |
| Figura 6.10 - Primeira EOF total do transporte meridional de momentum com variância explicada de 23,07%, 16,84% e 18,83% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente..... | 91 |
| Figura 6.11 - Primeira EOF do transporte zonal de calor sensível para o continente com variância explicada de 33,08%, 37,50% e 29,21% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente. | 93 |
| Figura 6.12- Primeira EOF total do transporte zona de calor sensível com variância explicada de 22,26%, 18,38% e 22,97% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente. | 94 |
| Figura 6.13 - Primeira EOF do transporte meridional de calor sensível para o continente com variância explicada de 66,47%, 43,41% e 27,43% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias respectivamente. | 96 |
| Figura 6.14 - Primeira EOF total do transporte meridional de calor sensível com variância explicada de 23,80%, 24,28% e 22,85% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias respectivamente..... | 97 |

LISTA DE TABELAS

- Tabela 4.1 - Anomalias térmicas mensais ($^{\circ}\text{C}$), para os meses de junho a setembro de 1989 a 2008 sobre a área de interesse. Hachurado de amarelo estão os meses com anomalias térmicas compreendidos entre 0,5 e 0,9 $^{\circ}\text{C}$, vermelho com anomalias térmicas mensais iguais ou maiores que 1 $^{\circ}\text{C}$ e cinza correspondente ao total de anomalias maiores que 0,5 $^{\circ}\text{C}$ 22
- Tabela 4.2 - Casos de EQS sobre o sudeste do Brasil de junho a setembro de 1989 a 2008. T', U' e P' representam as anomalias diárias de temperatura, umidade relativa e precipitação, respectivamente. 'I' corresponde à intensidade dos eventos cuja letra F, M e FR significam forte, moderado e fraco. As siglas EN, LN e N e significam El Niño, La Niña e neutro, respectivamente. 24
- Tabela 4.3 - Análise de variância sobre as médias anômalas de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação para todos os 26 EQS encontrados. "Var" representa o número de variáveis, GL é o grau de liberdade, SQ (TEMP), SQ(UR), SQ(PRP) representam a soma do quadrado da temperatura do ar, umidade relativa e precipitação respectivamente. QMT(TEMP), QMT(UR) e QMT (PRP) é o quadrado médio total da temperatura do ar, umidade relativa e precipitação respectivamente. F(TEMP), F(UR) e F(PRP) representam o valor do teste F para a temperatura do ar, umidade relativa e precipitação respectivamente e P corresponde ao nível de significância para a temperatura do ar, umidade relativa e precipitação 29

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

| | | |
|-------------------|---|---|
| ASAS | – | Alta Semi-Permanente do Atlântico Sul |
| ASPS | – | Alta Semi-Permanente do Pacífico Sul |
| ARG | – | Argentina |
| AS | – | America do Sul |
| BRA | – | Brasil |
| ' | – | Anomalia |
| BOL | – | Bolivia |
| CPTEC | – | Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climático |
| CPC | – | Climate Prediction Center |
| COB | – | Centro Oeste do Brasil |
| DSA | – | Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais |
| EQS | – | Evento Quente e Seco |
| EOF | – | Função Ortogonal Empírica |
| ES | – | Espírito Santo |
| ECMWF | – | European Center for Medium Range Forecast |
| ° C | – | Graus Celsius |
| ° | – | Graus |
| hPa | – | Hecto Pascal |
| HS | – | Hemisfério Sul |
| IBGE | – | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INPE | – | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| ISEQS | – | Índice de Severidade de Evento Quente e Seco |
| JBN | – | Jato de Baixos Níveis |
| mm | – | Milímetro |
| mgp | – | Metro geopotencial |
| m.s ⁻¹ | – | Metros por segundo |
| MG | – | Minas Gerais |
| NCEP | – | National Centers for Environmental Prediction |
| NEB | – | Nordeste do Brasil |
| - | – | Média sobre a área de estudo |
| W | – | Oeste |
| PIB | – | Produto Interno Bruto |
| PNMM | – | Pressão ao Nível Médio do Mar |
| PAR | – | Paraguai |
| PS | – | Pacífico Sul |
| % | – | Porcento |

| | | |
|--------------------|---|---------------------------------------|
| Kg.m^{-2} | - | Quilograma por metro quadrado |
| SP | - | São Paulo |
| S | - | Sul |
| SEB | - | Sudeste do Brasil |
| TSM | - | Temperatura da Superfície do Mar |
| UTC | - | Tempo Universal Coordenado |
| UR | - | Uruguai |
| ZCAS | - | Zona de Convergência do Atlântico Sul |
| Σ | - | Somatório |

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. Objetivo | 2 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 11 |
| 3.1. Área de estudo | 11 |
| 3.2. Dados | 13 |
| 3.3. Temperatura do ar, umidade relativa e precipitação..... | 13 |
| 3.4. Campos sinóticos e dados de El Niño /La Niña. | 13 |
| 3.5. Campos médios e componentes principais | 14 |
| 3.6. Seleção dos EQS | 15 |
| 3.7. Índice de Severidade dos EQS..... | 19 |
| 3.8. Análise de variância..... | 20 |
| 3.9. Estudo de caso | 20 |
| 4 ANÁLISE E ESTUDO ESTATÍSTICO DOS EQS | 21 |
| 4.1. Análise mensal dos EQS..... | 21 |
| 4.2. Análise dos 26 EQS | 23 |
| 4.3. Variação mensal durante o inverno austral..... | 25 |
| 4.4. Variação Inter anual dos EQS..... | 25 |
| 4.5. Índice de severidade (IS) e intensidade (Inten) dos EQS | 26 |
| 4.6. EQS associado às fases do ENOS e episódios de bloqueios | 27 |
| 4.7. Análise de variância..... | 29 |
| 5 ESTUDO DE CASOS DE EQS | 31 |
| 5.1. Primeiro EQS ocorrido entre 20 e 30 de setembro de 2004 | 31 |
| 5.2. Descrição sinótica do Evento I | 32 |
| 5.3. Campos médios e anômalos de pressão ao nível médio do mar..... | 32 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.4. | Campos médios e anômalos de altura geopotencial em 500 hPa | 36 |
| 5.5. | Campo médio de vento em 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa. | 39 |
| 5.6. | Campos médios e anômalos de água precipitável | 43 |
| 5.7. | Segundo EQS ocorrido entre 2 e 10 de setembro de 1997 | 46 |
| 5.8. | Descrição sinótica do evento II..... | 47 |
| 5.9. | Campos médios e anômalos de pressão ao nível médio do mar..... | 47 |
| 5.10. | Campos médios e anômalos de altura geopotencial em 500 hPa | 50 |
| 5.11. | Campo médio de vento em 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa | 53 |
| 5.12. | Campos médios e anômalos de água precipitável. | 57 |
| 5.13. | Terceiro EQS ocorrido entre 4 e 14 de junho de 2002 | 60 |
| 5.14. | Descrição sinótica do evento III | 61 |
| 5.15. | Campos médios e anômalos de pressão ao nível médio do mar..... | 61 |
| 5.16. | Campos médios e anômalos de altura geopotencial em 500 hPa | 64 |
| 5.17. | Campo médio de vento em 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa | 67 |
| 5.18. | Campos médios e anômalos de água precipitável | 71 |
| 5.19. | Síntese comparativa entre os três eventos mais intensos..... | 74 |
| 6 | ANÁLISE DOS CAMPOS MÉDIOS E EOF | 77 |
| 6.1. | Análise dos campos médios..... | 77 |
| 6.2. | Campo médio total de convergência do transporte de umidade em 925 hPa. | 77 |
| 6.3. | Campo médio total do transporte meridional de calor sensível em 925 hPa. | 79 |
| 6.4. | Campo médio total para o transporte zonal de calor sensível em 925 hPa..... | 81 |
| 6.5. | Análise das EOF | 83 |
| 6.6. | EOF da anomalia de temperatura do ar para o continente e total..... | 83 |
| 6.7. | EOF da anomalia de umidade relativa para o continente e total. | 86 |
| 6.8. | EOF do transporte meridional de momentum em 925 hPa para o continente e total. | 89 |
| 6.9. | EOF do transporte zona de calor sensível para o continente e total. | 92 |
| 6.10. | EOF do transporte meridional de calor sensível para o continente e total. | 95 |
| 7 | CONCLUSÕES E SUGESTÕES | 99 |

| | |
|---|------------|
| 7.1. Conclusões | 99 |
| 7.2. Sugestões para estudos futuros | 106 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 109 |

1 INTRODUÇÃO

A região SEB é composta pelos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Representa a região mais populosa e rica do Brasil ocupando aproximadamente 10% do território Brasileiro. Esta região possui um dos maiores índices de desenvolvimento humano do País em comparação com as demais regiões, além do maior PIB do Brasil de acordo com o (IBGE, 2006). Milhares de quilômetros de ferrovias, rodovias, duto vias, hidrovias e instalações industriais e portuárias são encontrados, além de patrimônios naturais como a Mata Atlântica e outras vegetações importantes. Entretanto, ela sofre freqüentemente com ação de sistemas meteorológicos como chuvas intensas as quais geram deslizamentos de encostas causando grandes prejuízos e perdas de vidas humanas (SOUSA JUNIOR et al, 2007), bem como eventos quentes e secos que sugerem prejuízos para a agricultura, setores de energia e até para a saúde da população (PRAKKI et al, 2007).

Durante os meses de inverno a temperatura do ar e a umidade relativa diminuem expressivamente no Sul, Sudeste e parte do COB e a falta de precipitação é notoriamente observada. Este padrão é considerado normal por se tratar de uma estação de inverno. Porém, durante o período dos EQS observa-se que as frentes frias provenientes do Sul da América do Sul não conseguem progredir até o SEB, favorecendo a permanência da massa de ar quente e seca a qual propicia a elevação da temperatura e diminuição da umidade sobre esta região. Embora esta situação seja conhecida pelos meteorologistas operacionais, há pouco ou nenhum estudo sobre EQS sobre o Sudeste do Brasil.

Prakki et al (2007) ao estudar os episódios quentes e secos na região Central da América do Sul observou que o ciclo de vida destes episódios eram compostos por três fases : fase inicial caracterizado pela elevação da temperatura do ar e diminuição da umidade relativa, fase de maturação onde a temperatura do ar se eleva e a umidade relativa diminui ainda mais e fase de dissipação onde a temperatura do ar e a umidade diminuem expressivamente.

1.1. Objetivo

O propósito desta dissertação é descrever as características sinóticas e estatísticas dos EQS que ocorreram durante o inverno austral no período de 1989 a 2008 sobre o sudeste do Brasil.

Os aspectos estatísticos que foram abordados estão relacionados com as anomalias diárias e mensais de temperatura do ar e umidade relativa em superfície e precipitação. Outro ponto significativo que se abordado, foi à utilização de um Índice de Severidade de Eventos Quentes e Secos (ISEQS) o qual classifica a intensidade dos eventos.

Os campos sinóticos utilizados servirão para identificar e obter a estrutura sinótica média da atmosférica que culminou na formação dos eventos mais intensos e compreender a evolução das condições atmosféricas de grande escala que favoreceram a formação dos EQS e na sua dissipação.

Diversos estudos sobre tempo severo no sudeste do Brasil vêm sendo analisados e a grande maioria associa aos episódios de chuvas intensas (SOUSA JÚNIOR et al, 2007; SOUSA JUNIOR; PRAKKI, 2007; TEIXEIRA; PRAKKI, 2007; SELUCHI; CHOU, 2008). No presente trabalho, porém se pretende abordar um problema oposto que seria a falta de chuva e temperaturas elevadas que sugere estar associada a presença de uma massa de ar quente e seca a qual sugere favorecer a ocorrência de queimadas e aumento súbito de problemas respiratórios. Desta forma propõe-se desenvolver uma análise sinótica (evolução temporal, espacial e associação com sistemas meteorológicos locais, regionais e/ou Hemisférico) e estatística (intensidade, frequência, duração, análise de variância e modos dominantes).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Marques (1996) afirma que uma possível razão para a estagnação de massas de ar quente e seca sobre uma região pode estar relacionada à presença de um bloqueio atmosférico. As regiões preferenciais para a presença de bloqueios atmosféricos no HS são: Austrália, Nova Zelândia, oceano Índico, a sudeste da África, a leste as América do Sul e a sudeste do oceano Pacífico. Fuentes (1996) explica que centros adjacentes de baixa pressão nas latitudes baixas e alta pressão nas latitudes mais altas criam uma situação de bloqueio, ou movimento lento dos sistemas sinóticos.

Massas de ar quente e seco sobre as regiões sul, sudeste e até centro-oeste do Brasil são observadas frequentemente durante o inverno. Sua atuação nessa região define as condições de tempo durante semanas e normalmente as temperaturas se elevam ultrapassando as normais climatológicas. A subsidência do ar sobre essa região impede a formação de nuvens de chuva e mantêm o tempo quente e seco. Estas temperaturas elevadas juntamente com períodos de seca causam grandes prejuízos à população principalmente no que diz respeito a problemas respiratórios. Outro setor que tem grandes problemas com a falta de água durante a estação de inverno são as empresas de energia que dependem das usinas hidrelétricas, as quais não conseguem manter as comportas em um nível aceitável para geração de energia suficiente para a indústria e a população (PRAKKI et al, 1998).

Os sistemas meteorológicos de escala sinótica que atuam sobre o SEB são relativamente bem conhecidos. Estes sistemas sinóticos podem intensificar ou inibir nuvens convectivas, elevar ou diminuir a temperatura e causar diversos fenômenos meteorológicos que afetam a vida na região. A literatura descreve que, em geral, centros de alta pressão e cristas apresentam ‘bom tempo’ em termos de nebulosidade e chuva. Enquanto, centros de baixa pressão, cavados, frentes, correntes de jato e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) apresentam atividade convectiva, precipitação e variações térmicas conforme visto em (KRISHNAMURTI, 1979; CARVALHO, 1982; KINDSON, 1991; QUADRO, 1993;

BLUESTEIN, 1993; ANDRADE, 2005; FERNANDES, 1996; PRAKKI et al, 1998; MARTON; ARAVEQUIA, 2006).

As regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil são caracterizadas pela passagem de sistemas frontais que durante o inverno causam o declínio da temperatura à superfície, porém em alguns períodos do inverno pode ocorrer estagnação de massa de ar quente e seco sobre a região central do Brasil, impedindo a incursão de massas de ar frio para a região central do Brasil durante períodos prolongados da ordem de semanas (PRAKKI et al, 1998). Quando isso ocorre, a população sofre com o desconforto causado pela alta temperatura aliada à baixa umidade e períodos sem precipitação.

Padilha (2005) estudou a estagnação de massas de ar quente e seco sobre a região central do Brasil entre os meses de abril a setembro de 1985 a 2003 e encontrou 35 casos de estagnação durante a série estudada, as quais ocorreram preferencialmente durante os meses de junho. A autora concluiu que mais de 63% dos casos relacionados ocorreram em períodos de bloqueio no oceano Pacífico Sudeste e influenciaram na estagnação de massa de ar quente e seca sobre a região central do Brasil.

Andrade (2005) fez uma climatologia para sistemas frontais para onze áreas da América do Sul e construiu compostos de frentes frias. Seus resultados mostraram que no inverno quando as frentes não atingem a região sudeste do Brasil há domínio de sistemas de alta pressão sobre o centro-sul do país e o sistema de alta pressão pós-frontal não é tão intenso quando o sistema avança sobre latitudes mais baixas. Nesta situação, observaram-se em níveis médios, intensa advecção de vorticidade positiva sobre parte da região Sul a qual desfavorece a entrada de frentes frias sobre o SEB favorecendo a permanência de massas de ar quente e seco.

Prakki et al (2007) analisou episódios quentes e secos na região centro-oeste da América do sul durante os meses de inverno e o início da primavera no período de 1961 a 2003. Seus resultados mostraram que estes eventos duram até 11 dias, as anomalias diárias de

temperatura do ar e umidade relativa às 0000 UTC chegaram a 4.9 °C e -18% respectivamente, na comparação com a normal climatológica para a região. Os eventos estiveram associados a massas de ar quente e seco e na fase de desenvolvimento observou-se forte movimento subsidente na média e baixa troposfera principalmente na região central do Brasil contribuindo para a elevação das temperaturas. Os autores encontraram 33 episódios quentes e secos com média anômala de temperatura do ar e umidade relativa de 4.1 °C e -13.2 %, respectivamente e ocorreram em anos de EL Niño.

A ocorrência de períodos secos no Brasil e algumas regiões da América do Sul são bem estudadas. A literatura nomeia estes períodos secos como veranicos, padrão inverso, episódios quentes e secos bem como outras nomenclaturas.

A incursão de ar frio durante o outono e inverno sobre o continente Sul-americano é uma característica normal destas estações. Estas incursões são geradas por sistemas das altas latitudes os quais ao adentrarem no continente geram queda acentuada de temperatura do ar em superfície. Porém, quando sistemas de alta pressão como a ASAS estão intensos, eles impedem a progressão destes sistemas oriundos das altas latitudes cheguem ao continente contribuindo assim para a elevação da temperatura do ar e conseqüentemente lavam a diminuição da umidade relativa sobre grande parte do Sul, SEB e COB, conforme visto em (MARENGO et al, 1997; PRAKKI et al, 1998; JACÓBSEN, 1999)

O veranico é um fenômeno meteorológico comum nas regiões meridionais do Brasil. Consiste em um período de dias sem precipitação, acompanhado por calor intenso, em plena estação fria (MARENGO et al, 1997). No Sul do Brasil a ocorrência de veranico foi observada durante o inverno por Jacóbsen (1999).

Já no NEB os veranicos estudados ocorrem dentro da estação chuvosa, que vai de abril a julho. Menezes et al (2006) estudou a relação entre os veranicos e as anomalias de TSM no Pacífico Equatorial e no Atlântico Tropical na microrregião do Litoral da Paraíba e observou

que são influenciados pelas condições de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical Norte, enquanto a influência do Pacífico Equatorial não foi estatisticamente significativa.

Marengo et al (2008) estudou uma forte seca que ocorreu nas bacias oeste e sul da Amazônia no ano de 2005. Esta seca causou grandes transtornos à população e ao meio ambiente e foi associado às mudanças climáticas, desflorestamento e anomalias quentes no oceano Atlântico Norte.

Pezza e Ambrizzi (1999) correlacionaram temperaturas do ar em superfície entre a região da Patagônia e sul do Brasil durante o inverno. Seus resultados mostraram que invernos frios na região da Argentina estão associados a invernos quentes no Sul do Brasil e anomalias negativas de temperatura no sul do Brasil sugerem anomalias positivas de temperatura no norte da Argentina. Os autores denominaram estas ocorrências de ‘padrão Inverso’ os quais ocorreram em 60% dos meses de inverno. Outro fator importante deste estudo foi que anomalias positivas de temperatura no sul do Brasil associaram-se com o fortalecimento do jato em latitudes ao sul de sua posição climatológica média, com orientação de noroeste para sudeste, enquanto anomalias negativas nesta mesma região estão associadas ao enfraquecimento do jato subtropical localizado ao norte de sua posição normal.

2.1 Aspectos gerais dos sistemas meteorológicos associados aos EQS

Bastos e Ferreira (2000) fizeram uma análise climatológica da ASAS para a estação de inverno e observaram que, quando a ASAS migra para o continente, há uma inibição na entrada de frentes, ocorre inversão térmica e aumenta a concentração de poluentes nos principais centros urbanos do SEB, causando problemas respiratórios na população.

Diversas metodologias são empregadas para se caracterizar situações de seca extremas em diversas regiões do Brasil (MARENGO et al, 2008; ASSIS et al, 2006 e 2007; KUMAR; RAO, 2005; JACÓBSEN, 1999). Porém, grande parte destes estudos analisaram apenas os impactos da estiagem e suas conseqüências na agricultura, setores de energia, indústria e outros, deixando a parte os sistemas sinóticos que estão associados à ocorrência destes períodos de seca. Um destes sistemas é conhecido como alta de bloqueio, o qual é amplamente conhecido na literatura por favorecer a ocorrência de estiagem em determinadas regiões do HS, em especial nas regiões centro-sul da América do Sul, sudeste e sul do Brasil conforme visto em (SINCLAIR, 1996; MARQUES, 1996; KAYANO, 1999; ADANA; COLUCCI, 2005; CARRIELLO et al 2005; DAMIÃO et al, 2006 e 2007; PRAKKI et al, 2007; MENDES et al, 2008)

Em latitudes médias a circulação atmosférica apresenta um escoamento predominantemente zonal de oeste, com deslocamento para leste de frentes, ciclones e anticiclones, porém em uma situação de bloqueio este padrão dá lugar a um escoamento meridional usualmente associado a uma bifurcação do jato subtropical, acompanhado pela formação de um anticiclone quente em latitudes mais altas do que aquelas onde se localiza o cinturão subtropical de altas pressões e por vezes ainda pela formação de uma depressão fria no lado equatorial. Os sistemas transientes de oeste, como cavados e anticiclones, são desviados de suas trajetórias por consequência deste novo padrão de escoamento os quais podem se manter estacionários ou semi-estacionários em regiões mais ao norte ou a sul da posição em que deveriam estar. Uma vez estabelecido um bloqueio, as condições de tempo associadas podem perdurar por vários dias, de forma que a previsão de tempo para algumas regiões

pode ter um maior grau de confiabilidade e serem estendidas, representando grandes benefícios a vários setores, por exemplo, agrícola, industrial, energético, transportes e outros, cujo planejamento e gerenciamento dependem das condições de tempo.

Um dos primeiros estudos sobre bloqueio para o Hemisfério Norte foi desenvolvido por Rex (1950a,b e 1951). Utilizando a mesma metodologia deste autor; com base em mapas meteorológicos em superfície para o período de 1950 a 1955, Van Loon (1956) obteve uma climatologia dos episódios de bloqueio para o HS e encontrou três regiões preferenciais de bloqueio a dizer, Oceano Pacífico, Oceano Atlântico e Oceano Índico. No que respeita à variabilidade sazonal dos bloqueios, Van Loon (1956) observou a existência de um máximo de ocorrência no final de Inverno e início da Primavera, e um segundo máximo nos meses de Outono.

Casarin e Kousky (1982) também utilizaram a metodologia proposta por Rex (1951) e identificaram a região a leste da Austrália como a mais favorável para a formação de bloqueios. Em outro trabalho, onde consideram-se subáreas do HS, Casarin (1982) observou uma preferência forte para a ocorrência de bloqueios no fim do Outono e parte do Inverno.

Lejenas (1984) observou que existem outras duas áreas preferenciais, a primeira sobre o Oceano Atlântico (Sudeste da América do Sul) e a segunda sobre o Oceano Índico (sudeste da África do Sul). Contudo, tanto o número de episódios quanto o número de dias bloqueados, nestas duas últimas regiões, foram consideravelmente menor que na região do Pacífico. Em relação ao deslocamento dos bloqueios ele concluiu que, na sua maioria, os bloqueios se propagam para leste, com exceção aqueles de longa duração que apresentavam movimento retrógrado.

Trenberth e Mo (1985) observaram que a maior frequência de episódio de bloqueio ocorre sobre a região da Nova Zelândia e Austrália, nos meses de agosto e setembro. De acordo com Mo (1983), a maior frequência de bloqueios, no período de Inverno, sobre a região da

Austrália, deve-se em parte, às grandes amplitudes observadas para as ondas com números de onda 3 e 4, persistentes nesta estação do ano.

Kayano e Kousky (1990) observaram que a frequência de eventos de bloqueio se revelou mais baixa durante a Primavera a leste deste Oceano, onde existe uma indicação clara da variação sazonal com um máximo de atividade de bloqueio ocorrendo nos meses de inverno.

Assim como não existe uma teoria única para explicar a formação, manutenção e dissipação do fenômeno de bloqueio, também não existe uma definição exata de bloqueio (LEJENAS e OKLAND, 1983).

Há várias propostas que definem quando há uma situação de Bloqueio no HS dentre elas ressalta-se a utilizada por Tibaldi e Molteni (1990) e que deve satisfazer as seguintes situações:

- 1) O deslocamento do bloqueio, dado pelo movimento do anticiclone, abrange pelo menos 25° de longitude, durante o período total do bloqueio;
- 2) O centro do anticiclone de bloqueio tem de estar no mínimo 10° ao sul da posição normal da cintura de altas pressões ou altas subtropicais; e
- 3) O bloqueio tem de ter uma duração mínima 5 dias.

Há três tipos de anticiclones de bloqueios no HS representados na Figura 2.1 a dizer:

O bloqueio tipo crista estacionária (1) que é caracterizado por um anticiclone de grande amplitude, e em que o escoamento contorna o ramo polar do anticiclone de bloqueio;

O bloqueio tipo dipolo (2), constituído por um anticiclone intenso e anômalo acompanhado por uma depressão, de menor intensidade no lado equatorial, o qual surge na forma de uma baixa desprendida (gota fria), caracterizada por anomalias negativas na configuração dos ventos de oeste e da altura do geopotencial ao nível de 500 hPa; e

c) O bloqueio tipo ômega (3), caracterizado pela presença de um anticiclone anômalo acompanhado por duas depressões, de menor intensidade e em que as linhas de corrente formam uma configuração em ômega no Hemisfério Norte (invertida no caso do HS).

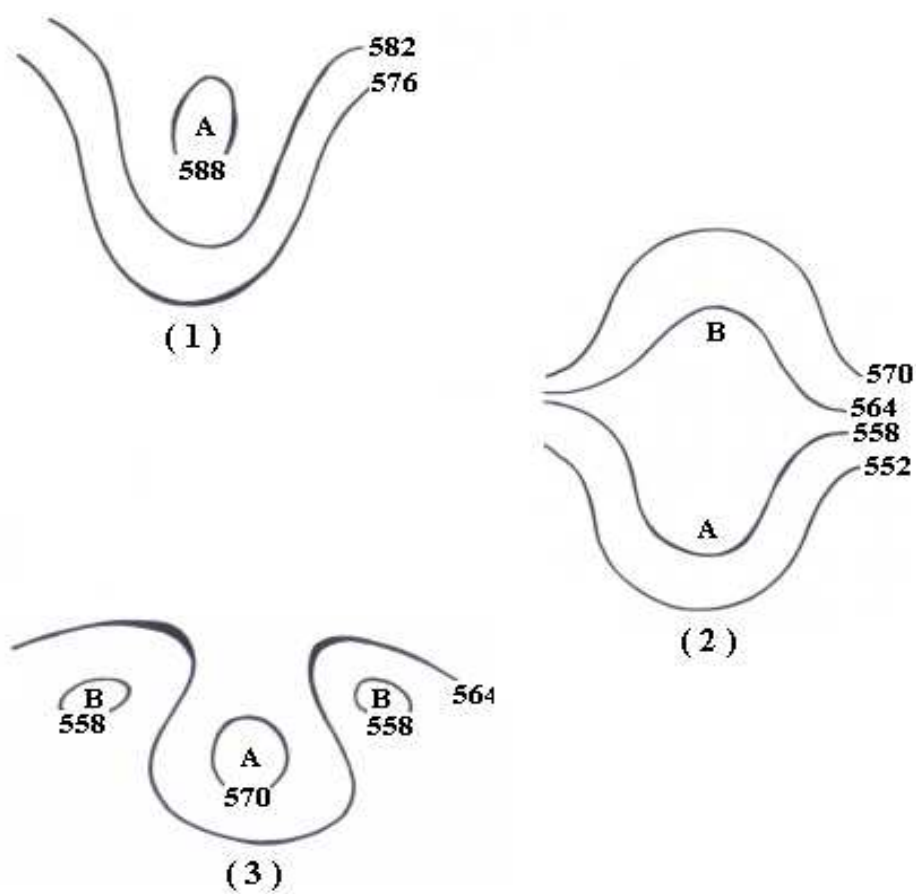


Figura 2.1 – Esquema de três tipos padrões de bloqueios no HS. (1) Bloqueio do tipo crista estacionária, (2) bloqueio tipo dipolo e (3) bloqueio do tipo Ômega invertido. Fonte: Marque (1996).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A área selecionada para analisar a ocorrência dos EQS o sudeste do Brasil, situado entre 40° W e 53° W e entre 13° S e 26° S conforme ilustrado na Figura 3.1. Esta região corresponde ao sudeste, parte do centro-oeste e sul do Brasil. Apesar de a região escolhida ser o SEB, estudar-se-á as condições sinóticas sobre o HS e AS.

Esta região foi selecionada porque representa as maiores economias do Brasil, com destaque para as três maiores metrópoles do País, a dizer: São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, além de possuírem a maior população com cerca de 80 milhões de habitantes de acordo com o (IBGE, 2006) e um impacto positivo no campo de anomalia de temperatura do ar, negativo no campo de umidade relativa durante na estação de inverno, sugere que haja grandes transtornos à população como problemas respiratórios devido à queda acentuada de umidade relativa, estiagem que levam ao agravamento do déficit hídrico do solo, além da diminuição da vazão de usinas hidroelétricas que necessitam de um nível aceitável para gerar energia suficiente.

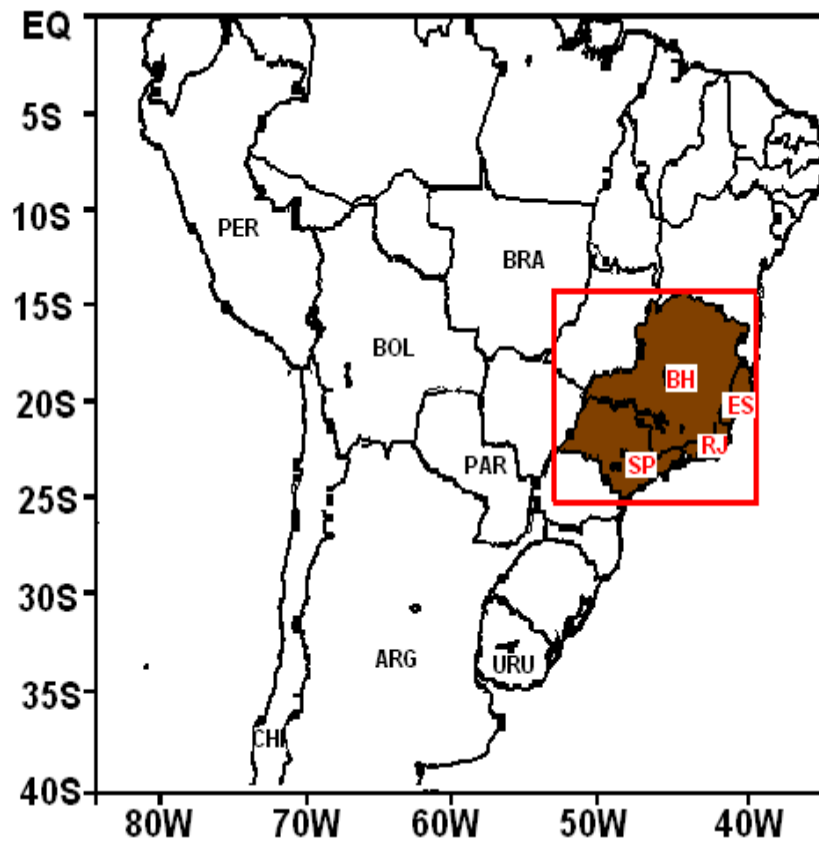


Figura 3.1- Área selecionada para estudo. As siglas correspondem a alguns estados Brasileiros e países Sul-americanos como: SP(São Paulo), RJ(Rio de Janeiro), MG (Minas Gerais), ES (Espírito Santo), BRA (Brasil), ARG (Argentina), URU (Uruguai) PAR (Paraguai), BOL (Bolívia) e PER (Peru).

3.2. Dados

3.3. Temperatura do ar, umidade relativa e precipitação

Foram utilizados dados diários e climatológicos mensais de temperatura do ar e umidade relativa em 925hPa e 1000 hPa. Estes dados foram obtidos a partir da reanálises Interim do ECMWF para o período de junho a setembro de 1989 a 2008, cuja resolução espacial é $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ latitude/longitude (UPPALA et al, 2005). Para a precipitação foram geradas climatologias mensais a partir dos campos diários sobre a América do Sul provenientes do CPC/NCEP para o período de junho a setembro de 1989 a 2008 numa resolução de $1^\circ \times 1^\circ$ latitude/longitude disponíveis em <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/wd52ws/SA/historical>.

3.4. Campos sinóticos e dados de El Niño /La Niña.

Também foram utilizados dados diários e climatológicos mensais de vento ($m.s^{-1}$) em 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa, pressão ao nível médio do mar (hPa), altura geopotencial (m) em 500 hPa e água precipitável ($kg.m^{-2}$) provenientes da reanálises Interim do ECMWF com resolução de $1.5^\circ \times 1.5^\circ$ de latitude/longitude para o período de junho a setembro de 1989 a 2008. Estes campos foram utilizados com o propósito de identificar os sistemas sinóticos que estiveram associados aos EQS bem como sua evolução temporal e espacial.

A partir destes dados foram gerados campos médios e anômalos para 10 dias antes, durante e 10 dias após os três eventos mais intensos dos seguintes parâmetros: pressão ao nível médio do mar, altura geopotencial em 500 hPa, vento em 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa e água precipitável. As análises foram feitas sobre o HS. Estes campos foram utilizados para identificar os sistemas sinóticos que atuaram e/ou influenciaram sobre a área alvo tais como as posições e intensidades dos centros anômalos de pressão, das correntes de jato (de baixos níveis e de altos níveis), dos cavados e cristas na média troposfera, das frentes e das extensões horizontais das anomalias sobre o SEB.

Os dados de episódios quentes (El Niño) e frios (La Niña), por estação utilizada nesta dissertação foram obtidos do CPC disponíveis em

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

3.5. Campos médios e componentes principais

Foram gerados através de rotinas computacionais (não apresentadas) campos médios para três dias antes, durante e três dias posteriores dos 26 EQS da convergência do transporte de umidade ($u'Q', v'Q'$), transporte meridional de momentum ($u'v'$), transporte meridional de calor sensível ($v'T'$) e transporte zonal de calor sensível (u', T') para o nível de 925 hPa.

A partir destes campos foi feita uma análise sobre o continente (AS) com o propósito de verificar qual a contribuição de cada transporte sobre a região estudada.

Foram aplicadas através de rotinas computacionais (não apresentadas) a técnica de EOF sobre os 26 eventos para três dias antes, durante e três dias posteriores para os campos anômalos de temperatura do ar e umidade relativa em 925 hPa, transporte meridional de momentum ($u'v'$), transporte meridional de calor sensível ($v'T'$), transporte zonal de calor sensível (u', T') no nível de 925 hPa. Este nível foi utilizado porque foi o que melhor representou do ponto de vista sinótico os campos analisados. A área selecionada para a análise está situada entre ($100^\circ W - 20^\circ W$) e ($00 - 60^\circ S$). Esta área corresponde ao continente Sul-americano e parte dos oceanos Atlântico e Pacífico Sul. A análise foi feita sobre o continente (América do Sul) e total (continente e oceano) a fim de verificar quais as contribuições do continente, do oceano ou de ambos.

A técnica de EOF foi empregada com o propósito de reduzir a variabilidade dos 26 EQS e tentar explicá-los em poucos campos de forma mais representativa, bem como mostrar qual modo (continente ou total) possui maior contribuição e ou dominância para a ocorrência destes eventos e também se havia alguma conexão com os oceanos adjacentes à América do Sul. Como o objetivo é estudar eventos anômalos quentes e secos, o cálculo da EOF foi feito sobre as anomalias e, nesse caso, pode-se interpretar o modo dominante associado ao composto delas.

3.6. Seleção dos EQS

Os critérios de seleção destes eventos descritos nesta dissertação, sobre a região sudeste do Brasil, abrange os aspectos sinóticos e estatísticos observados. Devido à falta de estudos sobre este fenômeno nesta região, foi utilizado o critério descrito abaixo o qual se assemelha ao utilizado por Prakki et al (2007). Em seu estudo sobre os episódios quentes e secos na região central da América do Sul os autores definiram como temperatura diária, aquela ocorrida as 0000 UTC. Porém este horário não retrata a temperatura do dia, uma vez que ela sofre variações intra diurna com picos de máxima e mínima. Desta forma foi representada como temperatura do dia a média diária desta variável. O passo inicial para encontrar estes eventos foram baseados no campo anômalo mensal de temperatura do ar no nível de 1000 hPa para o período de junho a setembro de 1989 a 2008. O passo seguinte foi baseado no critério de anomalias diárias de temperatura do ar em 1000 hPa, umidade relativa em 1000 hPa e precipitação. A estação de inverno foi selecionada porque corresponde ao período mais seco do ano, com valores baixos de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação, e um impacto nestas variáveis poderia causar grandes transtornos a população, além de que corresponde ao período estudado por Prakki et al (2007). Foram selecionadas as ocorrências de anomalias das variáveis citadas acima bem como a ocorrência de fenômenos e sistemas meteorológicos que possam estar associados aos EQS. Foi considerado como climatologia o período de 20 anos correspondente aos invernos de 1989 a 2008 dos campos de temperatura do ar em 1000 hPa, umidade relativa em 1000 hPa e precipitação, respectivamente. Estes campos foram utilizados com o objetivo de se encontrar os meses anômalos e dias mais anômalos sobre a região de interesse. O período com anomalias positivas de temperatura do ar, negativas de umidade relativa e anomalias negativas de precipitação apresenta fortes indicativos para encontrar os EQS.

Os passos para a seleção dos casos estão descritos na Figura 3.2. Prakki et al (2007) afirma que vários dias consecutivos com anomalias positivas de temperatura do ar causam um

impacto positivo na anomalia mensal. Desta forma calcularam-se as anomalias mensais de temperatura do ar para os 80 meses de estudo conforme descrito na equação (3.1).

$$T'_{(m)} = T_{(m)} - \overline{T}_{(m)} \quad (3.1)$$

Onde,

$T'_{(m)}$, $T_{(m)}$ e $\overline{T}_{(m)}$ representam as anomalias mensais de temperatura do ar, temperatura do ar (média do mês) e temperatura média mensal climatológica (média para o mês em questão) respectivamente.

O desvio padrão das anomalias mensais para os 80 meses estudados foi de 1° C. Desta forma foram selecionados para o estudo os meses que apresentaram anomalias mensais de temperatura acima de 0.5 ° C que corresponde a 50% do desvio padrão. É provável que haja meses que não tenham sido selecionados por apresentarem anomalias mensais inferiores ao limiar estipulado e tenham apresentado EQS, porém este critério foi estabelecido com o propósito de facilitar a seleção dos eventos. A partir daí foram obtidos campos anômalos diários de temperatura do ar em 1000 hPa, umidade relativa em 1000 hPa e precipitação sobre a área de estudo. As anomalias de temperatura diária para os meses selecionados aos EQS são obtidas, subtraindo o valor diário do climatológico mensal do mês em questão durante o período de 1989 a 2008. A anomalia diária é obtida pela seguinte equação:

$$T'_{(d)} = T_{(d)} - \overline{T}_{(m)} \quad (3.2)$$

Onde,

$T'_{(d)}$, $T_{(d)}$ e $\overline{T}_{(m)}$ representam as anomalias diárias de temperatura do ar, temperatura do ar (média diária) e temperatura média mensal climatológica (correspondente ao mês onde houve EQS, interpolada para o instante em questão) respectivamente.

Da mesma maneira foram obtidas as anomalias de umidade relativa (U') e precipitação (P'). Os critérios para identificar EQS são baseados na extensão horizontal e temporal e na intensidade das anomalias de temperatura do ar e umidade relativa.

Primeiro, foram selecionados casos onde houve anomalias térmicas diárias superiores ou iguais a 2 °C, anomalia diária de umidade relativa menor ou igual a 8% e anomalia diária de precipitação menor ou igual a 2 mm por no mínimo 4 (quatro) dias consecutivos sobre a área de interesse são considerados EQS. Os limiares de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação, foram obtidos a partir do dobro do desvio padrão o qual corresponde a todos os dias que apresentaram anomalias diárias. O número de dias considerados na análise foi estabelecido a partir dos estudos de Prakki et al (2007).

Diagrama esquemático de seleção dos eventos

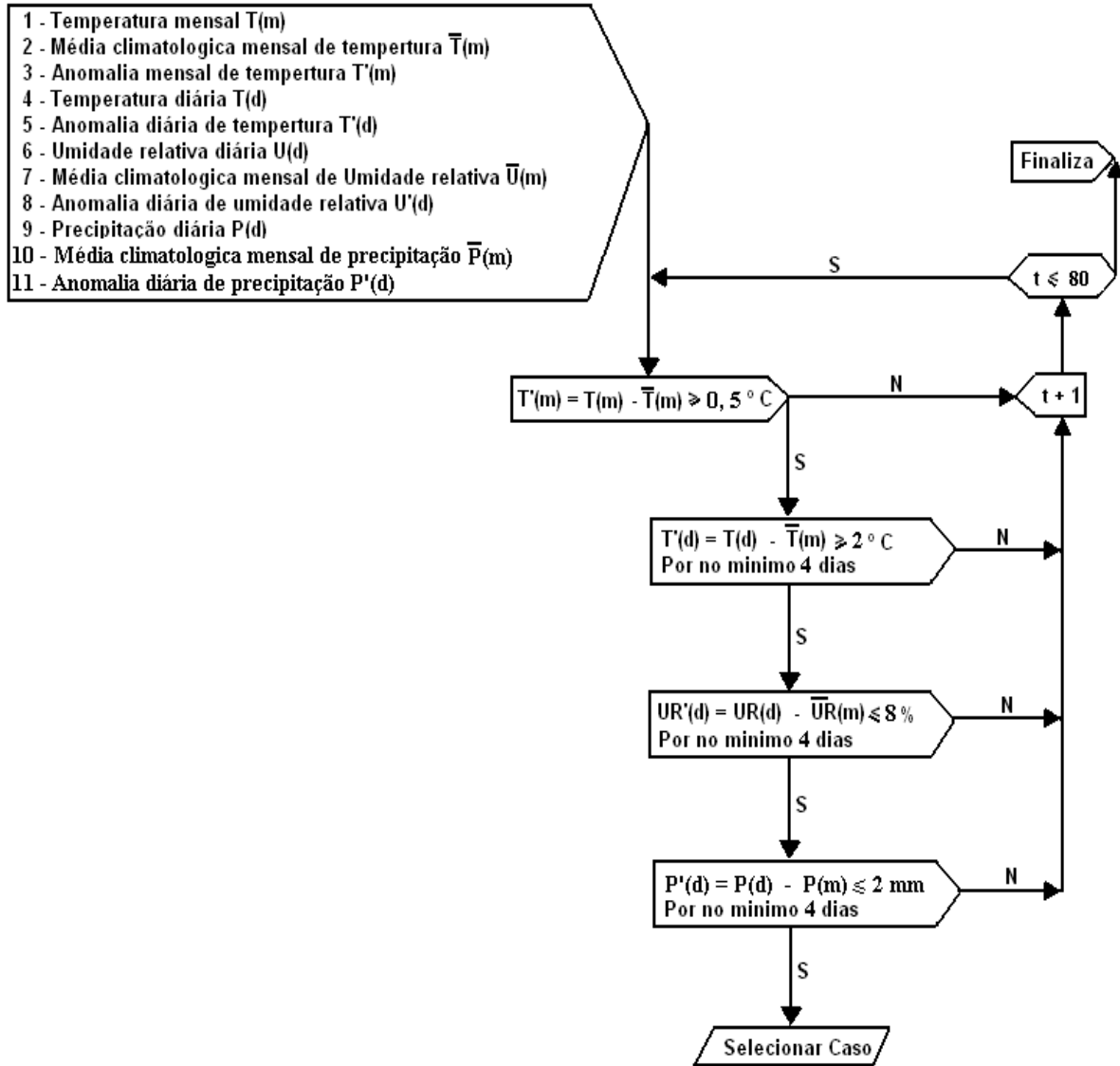


Figura 3.2 - Diagrama esquemático para seleção dos casos de EQS. 'S' e 'N' representam sim e não respectivamente na tomada de decisões e 't' corresponde ao mês.

3.7. Índice de Severidade dos EQS

Foi elaborado um ISEQS, a fim de classificar se o evento foi fraco, moderado ou forte. Este Índice de Severidade de EQS (ISEQS) foi desenvolvido de forma similar ao utilizado por Prakki et al (2007). Os autores consideraram apenas dois parâmetros que são as anomalias de temperatura do ar e umidade relativa às 0000 UTC durante episódios quentes e secos sobre a região central do América do Sul. Porém, será avaliado o acréscimo de mais uma variável que seria o terceiro termo correspondente às anomalias diárias de precipitação durante o período de EQS conforme descrito na equação (3.3); o primeiro e segundo termo são os mesmos de Prakki et al (2007):

$$ISEQS = \frac{1}{\overline{T}_m} \sum_{duração} T'_D - \frac{1}{\overline{U}_m} \sum_{duração} U'_D - \frac{1}{\overline{P}_m} \sum_{duração} P'_D \quad (3.3)$$

Onde \overline{T}_m , \overline{U}_m e \overline{P}_m são as médias climatológicas mensais de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação respectivamente para o mês de referência. T'_d , U'_d e P'_d são as anomalias diárias de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação respectivamente. Os somatórios da equação (3) são sobre o número de dias (duração) dos EQS.

Os limiares para designar se o evento foi fraco, moderado ou forte foram estabelecidos a partir da distribuição de frequência (não apresentada) dos eventos estudados. Primeiro foi gerada uma média e um desvio padrão de todos ISEQS e posteriormente somou-se a média com o desvio padrão e encontrou-se o valor adimensional de 7,4. Em seguida subtraiu-se a média do desvio encontrando o valor de 1,4. A partir daí os ISEQS foram classificados em fraco com valor menor ou igual a 1,4, moderado entre 1,4 e 7,4 e forte com valor superior a 7,4.

3.8. Análise de variância

A análise de variância é um teste estatístico amplamente difundido no meio científico e visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias.

Foi utilizado o teste F que é a comparação de médias oriundas de grupos diferentes, também chamados tratamentos, como por exemplo, médias históricas de qualquer variável, análise de diferentes grupos biológicos, sociais, entre muitas outras aplicações e mostra se existe ou não diferenças significativas entre estes grupos. Antes do teste foi checado se os dados atendiam o pré-requisito de possuir uma distribuição normal (HELLER, 1968; SOKAL, 1981; WILKS, 2006).

Com o proposito de facilitar o estudo da variância, foi utilizado o software statistic versão 6.0, onde foi elaborada uma análise de variância das anomalias médias dos campos de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação conforme descrito na tabela 4.1. Foi utilizado um intervalo de confiança(α) de 95% sobre os campos descritos, logo se 'p' for menor (maior) que 0,05 ($1-\alpha$) significa que as médias estão fora(dentro) do intervalo de confiança. Os resultados do teste estão descritos Capítulo 4.

3.9. Estudo de caso

A partir do ISEQS foram selecionados e analisados os três casos mais intensos de EQS que ocorreram sobre a região sudeste do Brasil, a fim de se obter mais detalhes sobre as características sinóticas e estatísticas associadas. Isto é, foram determinadas as condições sinóticas que ajudaram na formação destes eventos. As características estatísticas (intensidade, frequência e duração) serão analisadas neste estudo de caso. A análise sinótica está descrita no Capítulo 5.

4 ANÁLISE E ESTUDO ESTATÍSTICO DOS EQS

Neste Capítulo, será apresentado o estudo estatístico de todos os EQS encontrados entre junho e setembro de 1989 a 2008, onde será analisada a frequência, intensidade, duração e nível de significância destes eventos sobre a região sudeste do Brasil, além disso associá-los com a ocorrência de fenômenos e/ou sistemas meteorológicos regional ou hemisférico como bloqueios atmosféricos, El Niño, La Niña e outros.

4.1. Análise mensal dos EQS

A Tabela 4.1 mostra as anomalias térmicas mensais para a região de estudo durante o período de junho a setembro de 1989 a 2008. A cor amarela corresponde aos meses que apresentaram anomalias térmicas mensais entre 0,5 e 0,9 ° C. Em vermelho estão os meses com anomalias térmicas mensais iguais ou maiores que 1 ° C. Durante o período analisado 25 meses foram considerados anômalos de acordo com a metodologia estabelecida. Observa-se que 12 meses apresentaram anomalias, entre 0,5 e 0,9 ° C e 13 meses apresentaram anomalias igual ou maior que 1 ° C. Durante o período analisado observou-se que junho, julho, agosto e setembro apresentaram 4, 9, 6 e 6 meses com anomalias térmicas mensais respectivamente. Os meses mais anômalos foram julho e setembro com valores de até 1,8 ° C.

Tabela 4.1 - Anomalias térmicas mensais (°C), para os meses de junho a setembro de 1989 a 2008 sobre a área de interesse. Hachurado de amarelo estão os meses com anomalias térmicas compreendidos entre 0,5 e 0,9 ° C, vermelho com anomalias térmicas mensais iguais ou maiores que 1 ° C e cinza correspondente ao total de anomalias maiores que 0,5° C.

| ANOMALIA TERMICA MENSAL PARA O SUDESTE DO BARSIL | | | | |
|---|--------------|--------------|---------------|-----------------|
| ANOS | JUNHO | JULHO | AGOSTO | SETEMBRO |
| 1989 | -0,9 | -1,1 | -1,0 | -0,8 |
| 1990 | -0,3 | -1,2 | -1,4 | -1,3 |
| 1991 | 0,2 | -0,5 | -0,6 | -0,8 |
| 1992 | 0,4 | -0,9 | -1,4 | -1,7 |
| 1993 | -0,5 | 0,8 | -0,7 | 0,0 |
| 1994 | -0,2 | -0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 1995 | 0,2 | 1,2 | 1,7 | 0,5 |
| 1996 | -0,9 | -0,8 | -0,4 | -0,7 |
| 1997 | -0,2 | 0,0 | -0,1 | 1,6 |
| 1998 | -0,8 | 0,5 | 1,3 | 1,0 |
| 1999 | 0,0 | 0,1 | -0,8 | 0,2 |
| 2000 | 0,3 | -1,2 | -0,1 | -1,1 |
| 2001 | -0,2 | 0,8 | -0,3 | -0,1 |
| 2002 | 1,4 | 0,7 | 1,4 | -0,3 |
| 2003 | 1,7 | 0,7 | -0,5 | 0,5 |
| 2004 | -0,6 | -0,8 | -0,1 | 1,8 |
| 2005 | 0,5 | -0,2 | 0,9 | 0,0 |
| 2006 | -0,4 | 1,0 | 1,0 | 0,0 |
| 2007 | 0,9 | 0,7 | 0,0 | 1,2 |
| 2008 | 0,0 | 0,5 | 1,1 | 0,1 |
| Total ≥ 0,5 ° C | 4 | 9 | 6 | 6 |

4.2. Análise dos 26 EQS

A Tabela 4.2 apresenta os 26 EQS encontrados sobre o SEB entre junho a setembro de 1989 a 2008. Durante o período analisado observou-se que a anomalia de temperatura do ar, anomalia de umidade relativa e anomalia de precipitação foram em média 3° C, -7 % e -1 mm respectivamente. A frequência destes eventos foi aproximadamente 1(um) caso por ano com duração média de 7 dias durante o inverno austral. Em média o índice de Severidade de EQS foi de 4,4 (adimensional) com desvio de 2,9. Os resultados encontrados confrontam com os de Prakki et al (2007), o qual verificou que os eventos duraram em média 11 dias, as anomalias diárias de temperatura do ar e umidade relativa às 0000 UTC foram 4.1 °C e -13.2% respectivamente, na comparação com a normal climatológica para a região. O autor encontrou 33 casos de EQS na região central da América do Sul em 40 anos analisados, enquanto que esta dissertação registrou 26 eventos em 20 anos. É importante frisar que o autor considerou apenas um horário diário e isso pode ter contribuído para mascarar as variações intradiurnas das variáveis analisadas podendo comprometer seus resultados. Outro aspecto importante a se considerar é que as regiões analisadas nesta dissertação e as analisadas pelo autor são diferentes do ponto de vista topográfico, geográfico e climático, podendo assim apresentar características distintas das variáveis analisadas.

Tabela 4.2 - Casos de EQS sobre o sudeste do Brasil de junho a setembro de 1989 a 2008. T', U' e P' representam as anomalias diárias de temperatura, umidade relativa e precipitação, respectivamente. 'I' corresponde à intensidade dos eventos cuja letra F, M e FR significam forte, moderado e fraco. As siglas EN, LN e N e significam El Niño, La Niña e neutro, respectivamente.

| Evento | Início | Término | Nº de dias | $\bar{T}'(^{\circ}\text{C})$ | $\bar{U}'(^{\circ}\text{C})$ | \bar{P}' | ISEQS | I | Ranking | ENSO |
|-----------|------------------|------------------|------------|------------------------------|------------------------------|------------|------------|----------|----------|-----------|
| 1 | 1/7/1993 | 6/7/1993 | 6 | 4,3 | -7 | -1 | 5,7 | M | 7 | EN |
| 2 | 21/9/1994 | 26/9/1994 | 6 | 3,1 | -14 | -2 | 6,6 | M | 5 | EN |
| 3 | 25/7/1995 | 30/7/1995 | 6 | 2,1 | -3 | 0 | 2,5 | M | 21 | LN |
| 4 | 9/8/1995 | 16/8/1995 | 8 | 3,2 | -5 | -1 | 6,6 | M | 6 | LN |
| 5 | 27/8/1995 | 30/8/1995 | 4 | 3,2 | -8 | -1 | 4,1 | M | 11 | LN |
| 6 | 9/9/1995 | 12/9/1995 | 4 | 2,9 | -14 | -1 | 3,0 | M | 15 | LN |
| 7 | 2/9/1997 | 10/9/1997 | 9 | 3,5 | -10 | -2 | 10 | F | 2 | EN |
| 8 | 18/7/1998 | 23/7/1998 | 6 | 2,1 | -2 | 0 | 2,9 | M | 18 | EN |
| 9 | 11/8/1998 | 27/8/1998 | 17 | 2,4 | 0 | 0 | 1,9 | M | 23 | EN |
| 10 | 11/9/1998 | 19/9/1998 | 9 | 2,4 | -5 | 0 | 3,0 | M | 16 | EN |
| 11 | 17/7/2001 | 22/7/2001 | 6 | 3 | -5 | 0 | 2,4 | M | 22 | LN |
| 12 | 4/6/2002 | 14/6/2002 | 11 | 2,7 | -5 | -1 | 8,2 | F | 3 | EN |
| 13 | 23/7/2002 | 27/7/2002 | 5 | 2 | -1 | 0 | 1,0 | FR | 24 | EN |
| 14 | 5/8/2002 | 9/8/2002 | 5 | 2,6 | -4 | 0 | 2,9 | M | 19 | EN |
| 15 | 2/6/2003 | 6/6/2003 | 5 | 2,1 | -4 | -1 | 3,6 | M | 14 | N |
| 16 | 5/7/2003 | 9/7/2003 | 5 | 2,5 | -10 | 0 | 0,2 | FR | 26 | N |
| 17 | 20/9/2004 | 30/9/2004 | 11 | 3 | -13 | -2 | 13 | F | 1 | EN |
| 18 | 17/6/2005 | 20/6/2005 | 4 | 2,2 | -1 | 0 | 0,4 | FR | 25 | EN |
| 19 | 27/8/2005 | 30/8/2005 | 4 | 4,1 | -10 | 0 | 3,0 | M | 17 | EN |
| 20 | 20/7/2006 | 29/7/2006 | 10 | 3,1 | -10 | 0 | 6,7 | M | 4 | EN |
| 21 | 9/8/2006 | 17/8/2006 | 9 | 2,4 | -5 | 0 | 5,4 | M | 8 | EN |
| 22 | 10/6/2007 | 16/6/2007 | 7 | 2,1 | -5 | -1 | 5,1 | M | 9 | LN |
| 23 | 5/7/2007 | 10/7/2007 | 6 | 2 | -5 | -1 | 3,9 | M | 13 | LN |
| 24 | 19/9/2007 | 24/9/2007 | 6 | 3,2 | -13 | -1 | 5,0 | M | 10 | LN |
| 25 | 18/7/2008 | 25/7/2008 | 8 | 2 | -9 | 0 | 4,0 | M | 12 | LN |
| 26 | 26/8/2008 | 29/8/2008 | 4 | 2,1 | -11 | 0 | 2,8 | M | 20 | LN |
| | | Média | 7 | 3 | -7 | -1 | 4,4 | | | |
| | | DisvPad | | 0,6 | 4,2 | 0,7 | 2,9 | | | |

4.3. Variação mensal durante o inverno austral

A Figura 4.1 mostra a variação mensal dos EQS. Observa-se que junho correspondente ao primeiro mês da estação de inverno, registrou quatro casos, junho registrou nove casos, julho registrou seis e o último mês representado por setembro registrou seis casos. É notório que o mês preferencial para a ocorrência de EQS sobre a região analisada é julho, o que destoa dos resultados encontrados por Prakki et al (2007), o qual encontrou mês preferencial de agosto.

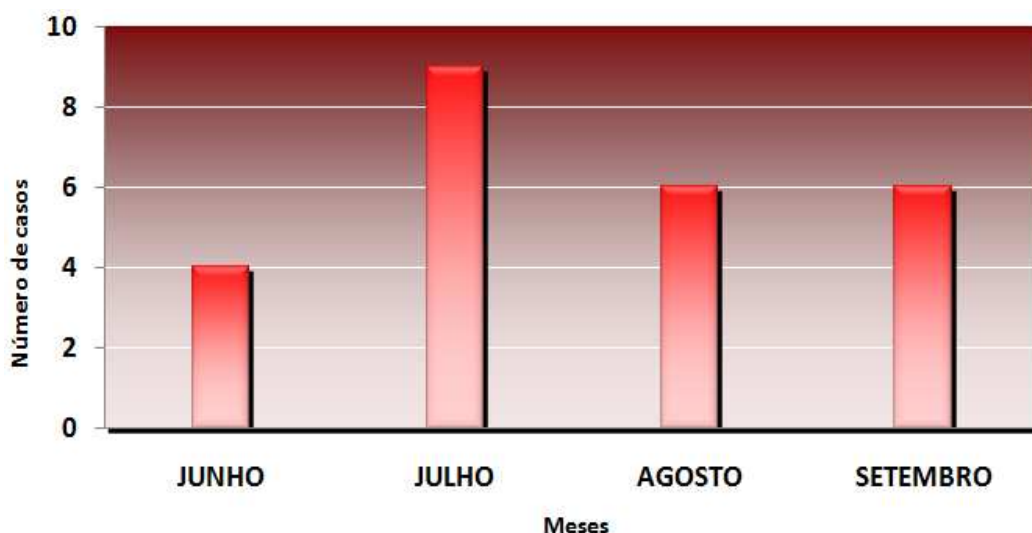


Figura 4.1 - Variação mensal do número de casos de EQS sobre o Sudeste Brasileiro durante o inverno.

4.4. Variação Inter anual dos EQS

A Figura 4.2 apresenta a variação inter anual dos EQS sobre o sudeste do Brasil. Os anos de 1995, 1998, 2002 e 2007 foram os anos com os maiores números de ocorrências de EQS com 3 casos por ano totalizando um total de 12. Observa-se que estes eventos não

apresentaram uma periodicidade anual de ocorrência durante a última década do século passado. Entre os anos de 2001 a 2008 verifica-se que os eventos ocorreram em todos os anos com variação média anual de 2 casos por ano.

Os anos de 1989 a 1992, 1996, 1999 e 2000 não apresentaram casos de EQS. É possível que estes anos possam ter apresentado EQS, porém eles não se enquadraram na metodologia utilizada.

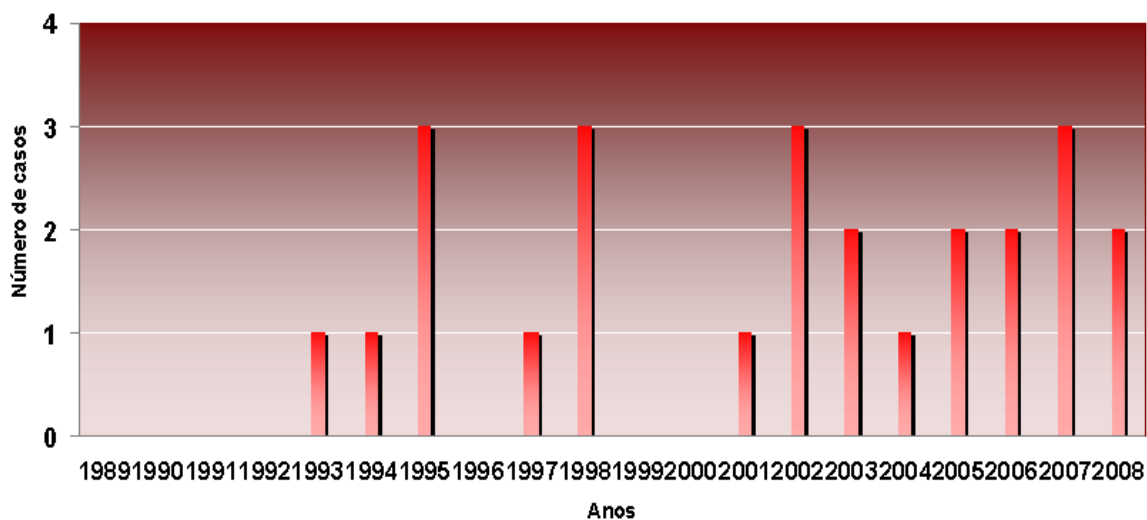


Figura 4.2 - Variação inter anual dos EQS sobre a região Sudeste do Brasil.

4.5. Índice de severidade (IS) e intensidade (Inten) dos EQS

A Figura 4.2 mostra o Índice de Severidade dos EQS o qual foi desenvolvido a partir da média e do desvio padrão.

A partir da metodologia descrita nesta dissertação o ISEQS foi classificado em fraco, moderado e forte. Dos 26 eventos analisados, 3 episódios foram classificados como fracos e ocorreram entre junho e julho, 20 episódios foram moderados e ocorreram em todos os meses e os 3 restantes foram classificados como intensos ocorrendo nos meses de junho e

setembro conforme pode ser visto na Figura 4.2. Estes resultados não corroboram com os encontrados por Prakki et al (2007), que encontrou 16 casos fortes e 17 moderados. Baseado neste índice estabeleceu-se o ‘ranking’ destes eventos e a partir dai foram classificados para estudo de caso os três mais intensos.

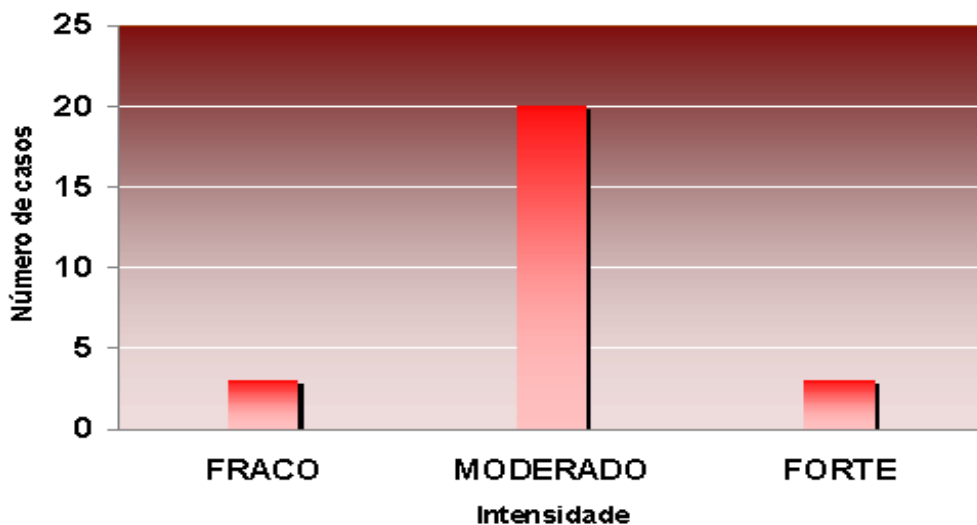


Figura 4.3 – Intensidade dos eventos

4.6. EQS associado às fases do ENOS e episódios de bloqueios

O El Niño é um fenômeno climático associado ao aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do Pacífico equatorial e está associado a alterações dos padrões normais da TSM e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e no Pacífico oeste próximo à Austrália.

O ENOS pode ser também quantificado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). Este índice representa a diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália). Ele está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos níveis baixos da atmosfera, consequência do aquecimento/resfriamento das

águas superficiais na região. Valores negativos do IOS são fortes indicadores para a ocorrência de El Niño, enquanto valores positivos correspondem à ocorrência de La Niña. Os efeitos do El Niño sobre o HS durante o inverno vão desde secas extremas no Pacífico oeste (costa Australiana) e ilhas Asiáticas ao norte da Austrália até períodos quentes na costa oeste da AS e costa nordeste do Brasil. Também são observadas reduções de nutrientes, biomassa fitoplanctônica e produtividade primária sobre os organismos marinhos sobre a costa do Pacífico equatorial. Evidências deste fenômeno sugerem efeitos danosos em organismos marinhos como peixes, aves e até mamíferos marinhos, porém é necessário mais anos de observação a fim de se determinar com precisão a magnitude das consequências sobre estas espécies (BARBER e CHAVEZ, 1983). Sobre a América do Sul este fenômeno causa secas severas no nordeste do Brasil e Antiplano Peru-Bolívia e redução das chuvas e vazão dos rios em parte da Amazônia e Colômbia, bem como, elevação da temperatura do ar no sudeste do Brasil. Já a La Niña apresenta um padrão contrário, sendo observado período frio na costa oeste da América do Sul e aumento da precipitação e vazão dos rios na Colômbia, Amazônia e nordeste do Brasil conforme citado por (KAROLY, 1989; CAVALCANTE, 1996; WANG, 1995; MOLION, 2005; GRIMM, 2006).

Ao longo dos 20 anos analisados, observou-se que 11 anos estiveram associados a fase quente do ENOS (El Niño), 7 anos a fase fria (La Niña) e 2 anos a fase neutra, durante a estação analisada. A última coluna da tabela 4.1 mostra as fases do ENOS durante a atuação dos EQS. Dos 26 casos analisados, observou-se que 14 casos estiveram associados a fase quente do ENOS (El Niño), 10 casos estiveram associados a fase fria (La Niña) e 2 casos ocorreram em período neutro. Os três eventos mais intensos analisados ocorreram durante a fase quente do ENOS, o que sugere que os eventos mais intensos ocorrem mais frequentemente em anos de El Niño, o que corrobora com os resultados encontrados por Prakki et al (2007). O caso II ocorreu durante o ano de 1997, o que corresponde a um dos anos mais intensos de El Niño.

4.7. Análise de variância

O teste F foi aplicado sobre as médias anômalas de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação para todos os 26 EQS encontrados.

A Tabela 4.3 mostra que o valor de 'F' foi de 4,6, 16,6 e 4,5 para a temperatura do ar, umidade relativa e precipitação, respectivamente. O valor de P foi muito menor que 0,05 o que indica que não há diferenças significativas entre as médias anômalas para o período dos EQS para a temperatura do ar, umidade relativa e precipitação. Embora o valor da umidade relativa seja alto em relação aos outros campos, ele é considerado dentro da normalidade uma vez que as anomalias de umidade diárias oscilaram entre -16 e 0 o que influenciou no valor de 'F'.

Tabela 4.3 - Análise de variância sobre as médias anômalas de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação para todos os 26 EQS encontrados. "Var" representa o número de variáveis, GL é o grau de liberdade, SQ (TEMP), SQ(UR), SQ(PRP) representam a soma do quadrado da temperatura do ar, umidade relativa e precipitação respectivamente. QMT(TEMP), QMT(UR) e QMT (PRP) é o quadrado médio total da temperatura do ar, umidade relativa e precipitação respectivamente. F(TEMP), F(UR) e F(PRP) representam o valor do teste F para a temperatura do ar, umidade relativa e precipitação respectivamente e P corresponde ao nível de significância para a temperatura do ar, umidade relativa e precipitação.

| | GL | SQ (TEMP) | SQ (UR) | SQ(PRP) | QMT(TEMP) | QMT(UR) | QMT(PRP) | F (TEMP) | F (UR) | F (PRP) | P |
|---------|-----|-----------|---------|---------|-----------|---------|----------|----------|--------|---------|-----|
| "Var" | 25 | 60 | 3339,7 | 66,6 | 2 | 133,5 | 2,7 | 4,6 | 16,7 | 4,5 | 0,0 |
| Resíduo | 157 | 82 | 1247,4 | 90,7 | 0,5 | 7,9 | 0,6 | | | | |
| Total | 182 | 142 | 4587 | 157 | | | | | | | |

5 ESTUDO DE CASOS DE EQS

Este Capítulo apresentará um estudo sinótico das condições atmosféricas que culminaram na formação dos EQS sobre a região sudeste do Brasil. Serão analisados os três eventos mais intensos. O primeiro evento que ocorreu entre os dias 20 e 30 de setembro de 2004, o segundo ocorreu entre 02 e 10 setembro de 1997 e o terceiro entre os dias 04 e 14 de junho de 2002. Estes eventos foram selecionados porque foram classificados como os mais intensos de acordo com a metodologia utilizada.

5.1. Primeiro EQS ocorrido entre 20 e 30 de setembro de 2004

O mês de setembro de 2004 foi caracterizado como um mês anômalo do ponto de vista da temperatura do ar e umidade relativa. O campo de anomalia mensal de temperatura do ar (Figura 5.10a) para o mês de setembro de 2004, mostra que este mês foi caracterizado com anomalias mensais em todo o Brasil em especial sobre o SEB onde há valores de até 3° C. O campo de anomalia de umidade relativa também mostra valores anômalos em todo o Brasil. Destaca-se anomalias negativas de até - 3 % sobre o centro oeste e sudeste do Brasil.

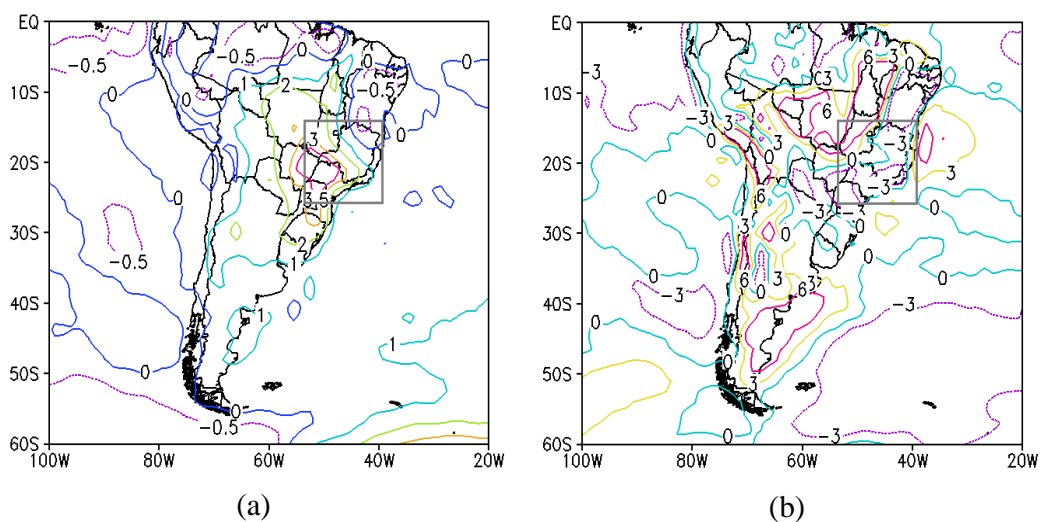


Figura 5.1- (a) Anomalia mensal de temperatura do ar em superfície (° C) e (b) anomalia mensal de umidade relativa (%) para setembro de 2004.

Durante os dias 20 a 30 de setembro de 2004 foram observados que as anomalias de temperatura do ar (campos não apresentados) em superfície, oscilaram entre 2 e 5 ° C sobre a região estudada. A tabela 4.1 mostra que as anomalias médias de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação foram de 3° C, -13% e -2 mm respectivamente. Este evento foi classificado como o mais intenso de acordo com a metodologia utilizada e ocorreu em ano de El Niño.

Como a diminuição da umidade relativa está diretamente relacionada ao aumento de temperatura, uma vez que a umidade é função da quantidade de vapor d'água e da temperatura do ar (VAREJÃO SILVA, 2000), os valores baixos de umidade relativa sobre o sudeste do Brasil são justificáveis. Durante a estação de inverno é esperado valores baixos de umidade relativa sobre o sul e sudeste do Brasil uma vez que há pouco vapor d'água presente na baixa troposfera (GAN et al, 2004) e um aumento no valor da temperatura do ar contribuiu ainda mais para o declínio da umidade relativa sobre esta região.

5.2. Descrição sinótica do Evento I

A seguir será feita uma descrição sinótica sobre o HS dos campos atmosféricos médios e anômalos para os dez dias antes do evento, durante e dez dias posterior ao evento das seguintes variáveis: Pressão ao nível médio do mar (hPa), altura geopotencial em 500 hPa, vento em 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa e água precipitável (kg/m²).

5.3. Campos médios e anômalos de pressão ao nível médio do mar

O campo médio de pressão ao nível médio do mar para os dez dias antes do evento (Figura 5.3a) mostrou que a ASPS está bem configurada sobre o Pacífico sudeste, com centro de 1025 hPa em quanto que a ASAS está mais estirada (zonalmente) e não possui centro bem definido. Durante o evento (Figura 5.3b) observa-se que o núcleo oeste visto no campo

anterior enfraquece e agora observa-se que a ASPS está bem configurada na costa do Chile. É provável que este centro 'enfraquecido' possa ter sido filtrado, uma vez que se trata de um campo médio. A ASAS configura a presença agora um centro com 1025 hPa entre a AS e o continente Africano. O padrão semi-estacionário da ASPS sugere que este sistema possa atuar como uma alta de bloqueio impedindo que sistemas transientes oriundos das latitudes extratropical como frentes e sistemas de baixa pressão possam chegar a região sudeste do Brasil favorecendo a permanência de tempo bom conforme pode ser visto em (PRAKKI et al, 1998; MARQUES, 1996; DAMIÃO, 2007). Após o evento a ASAS se desloca mais para leste enquanto que a ASPS retorna para a sua posição anterior conforme visto na Figura 5.3a.

O campo anômalo para os dez dias que antecedem o evento (Figura 5.4a) mostra a presença de diversos centros anômalos negativos e positivos ao longo das latitudes tropicais e extratropicais. A ASPS apresenta valores anômalos de até 60 hPa, enquanto que a ASAS esteve menos intensa que sua climatologia. Durante o período que ocorreu o evento (Figura 5.4b), observa-se que ASPS se aproximou mais da costa oeste do Chile apresentando valores anômalos em seu centro de até 150 hPa mostrando que este sistema se intensificou. O campo anômalo para os dez dias posteriores ao evento (Figura 5.4c) mostra que a ASPS se desintensifica e dá lugar a um centro anômalo negativo.

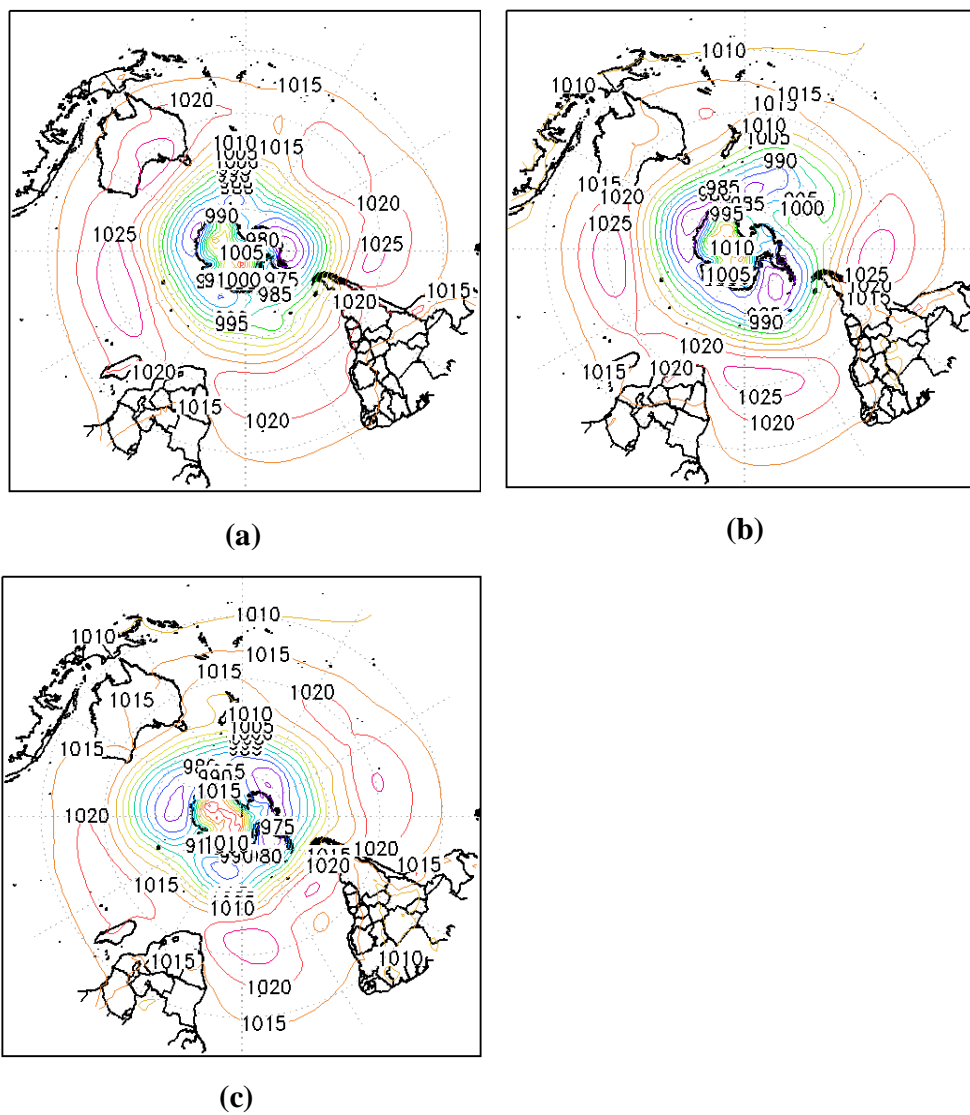


Figura 5.3 - Campo médio de pressão ao nível médio do mar (hPa). (a) para os dez dias que antecedem o evento, (b) durante o evento e (c) para dez dias posteriores ao evento.

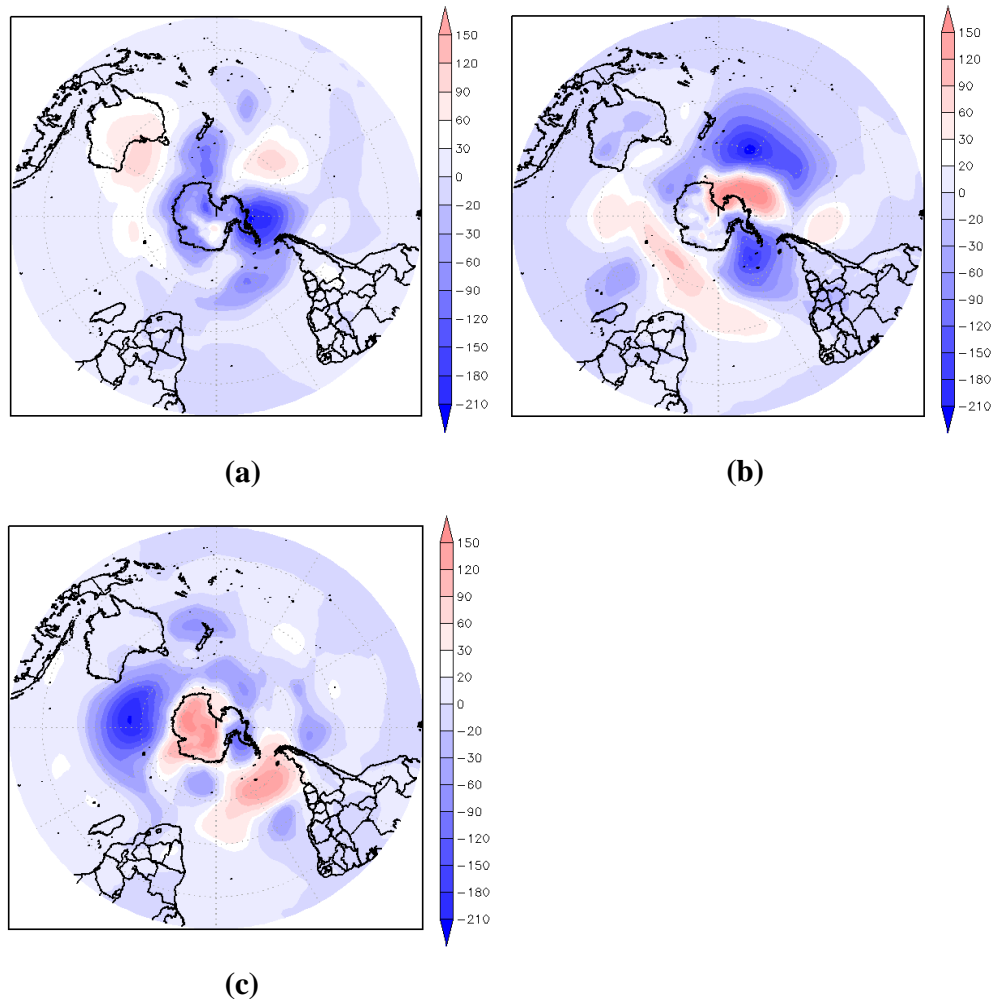


Figura 5.4 - Campo de anomalia de pressão ao nível médio do mar (Pa). (a) para os dez dias que antecedem o evento, (b) durante o evento e (c) para dez dias posteriores ao evento.

5.4. Campos médios e anômalos de altura geopotencial em 500 hPa

O campo médio para dez dias antes (Figura 5.5a) mostra a presença de uma onda zonal que se estende da costa do Chile ao sul do SEB. A leste desta onda temos advecção de vorticidade negativa (divergência em médios níveis), ou seja, convergência em superfície que sugere instabilidade sobre esta região. Como se trata de um campo médio não dá para afirmar se durante todo o período havia presença desta onda atuando sobre a parte sul do sudeste do Brasil.

Durante o evento (Figura 5.5 b) nota-se que a onda descrita anteriormente dá lugar a um padrão de escoamento mais zonal. Após o evento (Figura 5.5c) esta onda torna a surgir, porém agora localizada sobre o Atlântico Sul e menos amplificada se comparado ao campo médio anterior ao evento.

O campo de anomalia de altura geopotencial (m_gp) em 500 hPa (Figura 5.6a) para os dez dias que antecedem o evento, mostra diversos centros anômalos na região extratropical. Destaca-se sobre o Pacífico sudeste e sul desta região dois centros anômalos com valores expressivos se comparados com a climatologia, sendo um anômalo positivo que está centrado na costa do Chile e outro anômalo negativo que está localizado próximo ao continente Antártico no extremo sul da AS. Este padrão de formação sugere a presença de um bloqueio atmosférico do tipo dipolo de acordo com Marques (1996) o qual pode ter influenciado as condições de tempo na região Sul e Sudeste do Brasil conforme descrito em Damiano et al (2007). Durante o período que ocorreu o evento (Figura 5.6b) o campo anômalo não apresentou características sinóticas bem definidas de um episódio de bloqueio atmosférico, porém o núcleo anômalo negativo se deslocou mais para leste de sua posição. Verifica-se a presença de um núcleo anômalo positivo que está centrado no sul da África do Sul e se estende zonalmente até a costa sul e sudeste do Brasil acoplado com outro núcleo anômalo quente que está centrado na costa oeste do Chile. O padrão de formação deste campo sugere que ele possa ter impedido que sistemas como frentes frias possam ter chegado ao SEB favorecendo a permanência de tempo seco sobre esta região. O campo

anômalo após o evento (Figura 5.6c) mostrou a presença de um núcleo anômalo negativo bastante intenso na comparação com a normal na costa do SEB.

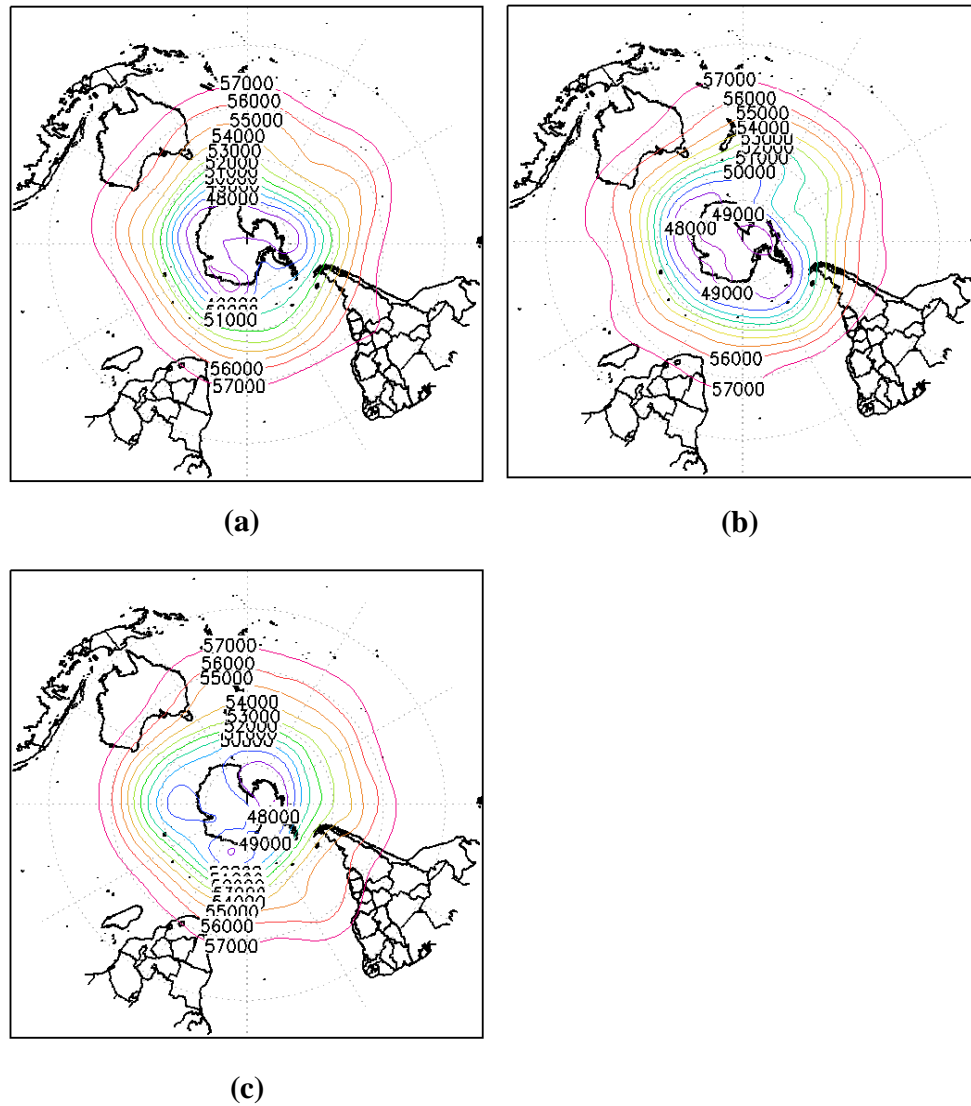


Figura 5.5 - Campos médios de altura geopotencial (mgs) em 500 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento.

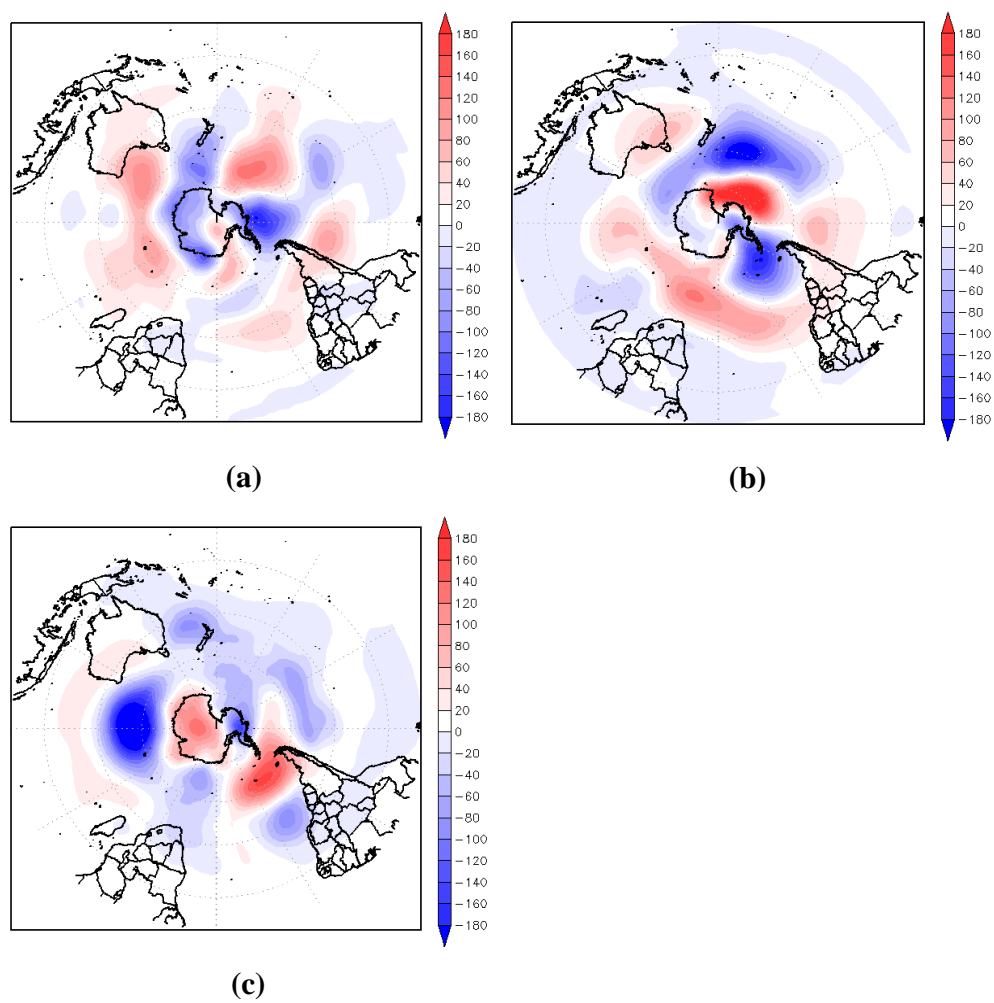


Figura 5.6 - Campos de anomalia de altura geopotencial (m gp) em 500 hPa. (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento.

5.5. Campo médio de vento em 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa.

O sentido anticiclônico dos vetores de vento sobre o Pacífico sudeste para o campo médio durante os dez dias que antecederam o evento (Figura 5.7a), é sugestível a presença do ASPS. Os ventos alísios de sudeste também são observados neste campo sobre o Pacífico equatorial e Atlântico Sul. Ao extremo sul da AS os ventos apresentaram valores de até 18 m.s⁻¹. Durante o período do EQS (Figura 5.7b) a ASPS e ASAS foram bem representadas pelo campo de vento. Sobre o SEB os ventos são predominantemente de nordeste. Após o EQS (Figura 5.7c) os ventos continuam de nordeste sobre a região estudada, porém agora com menor intensidade.

Os campos de vento médio em 500 hPa para antes e durante o EQS (Figuras 5.8a e 5.8b) apresentaram ventos predominantemente zonal sobre sul da AS com valores de até 26 m.s⁻¹. Após o evento (Figura 5.8c) o vento apresentou direção de sudoeste sobre parte da AS e SEB com intensidade de 30 m.s⁻¹ e sugere estar associado à presença de um cavado no Atlântico Sul.

Em altos níveis (Figura 5.9a) o campo de vento para os dez dias que antecedem o evento mostrou ventos de oeste sobre grande parte da América do sul com intensidade acima 50 m.s⁻¹. Durante o EQS (Figura 5.9b) os ventos de oeste ficaram mais intensos com valores de até 60 m.s⁻¹ sobre a costa leste do Uruguai e regiões próximas. O padrão dos ventos apresentado é sugestível a presença do jato subtropical, o qual está mais intenso durante o período de inverno devido ao transporte meridional de momentum que intensifica os ventos de oeste nas latitudes médias. A presença deste sistema sugere desfavorece a penetração de sistemas frontais e massa de ar frio que estão próximos do norte da Argentina, uma vez que os sistemas frontais não recebem suporte de altos níveis para progredirem em direção ao SEB. Após o EQS (Figura 5.9c) mostrou ventos com orientação sudoeste-nordeste sobre a região estudada.

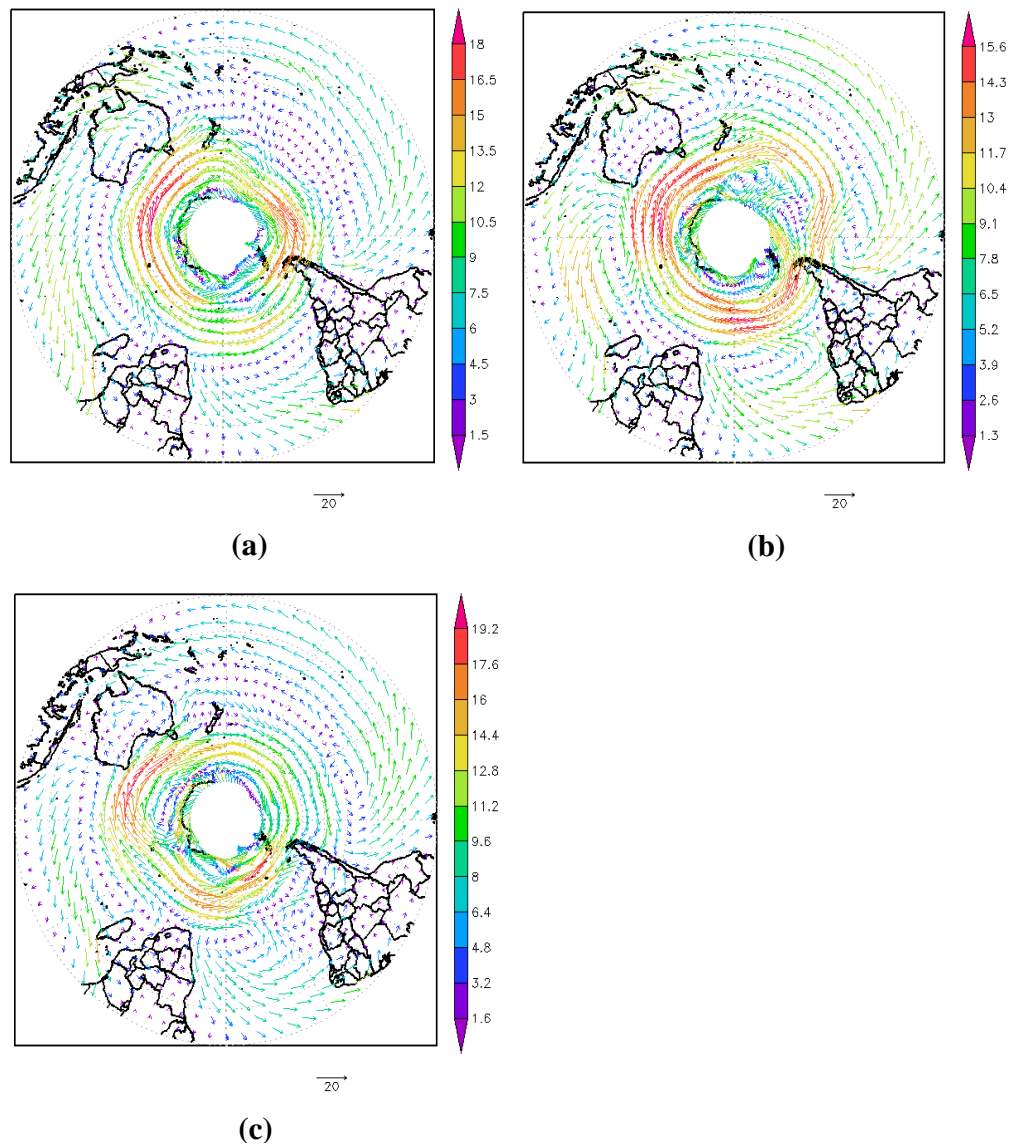


Figura 5.7 - Campos médios de vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) em 925 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento.

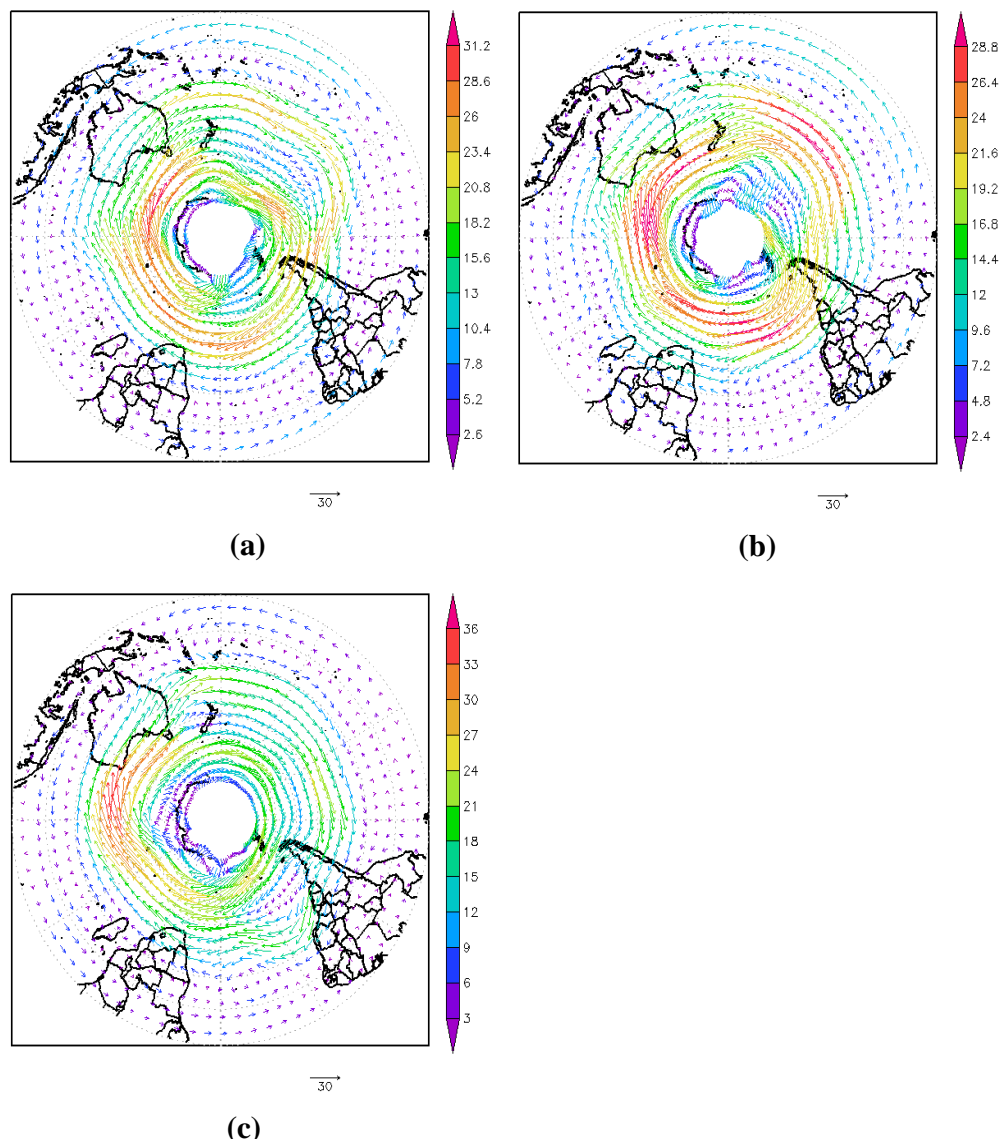


Figura 5.8 – Campos médios de vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) em 500 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento.

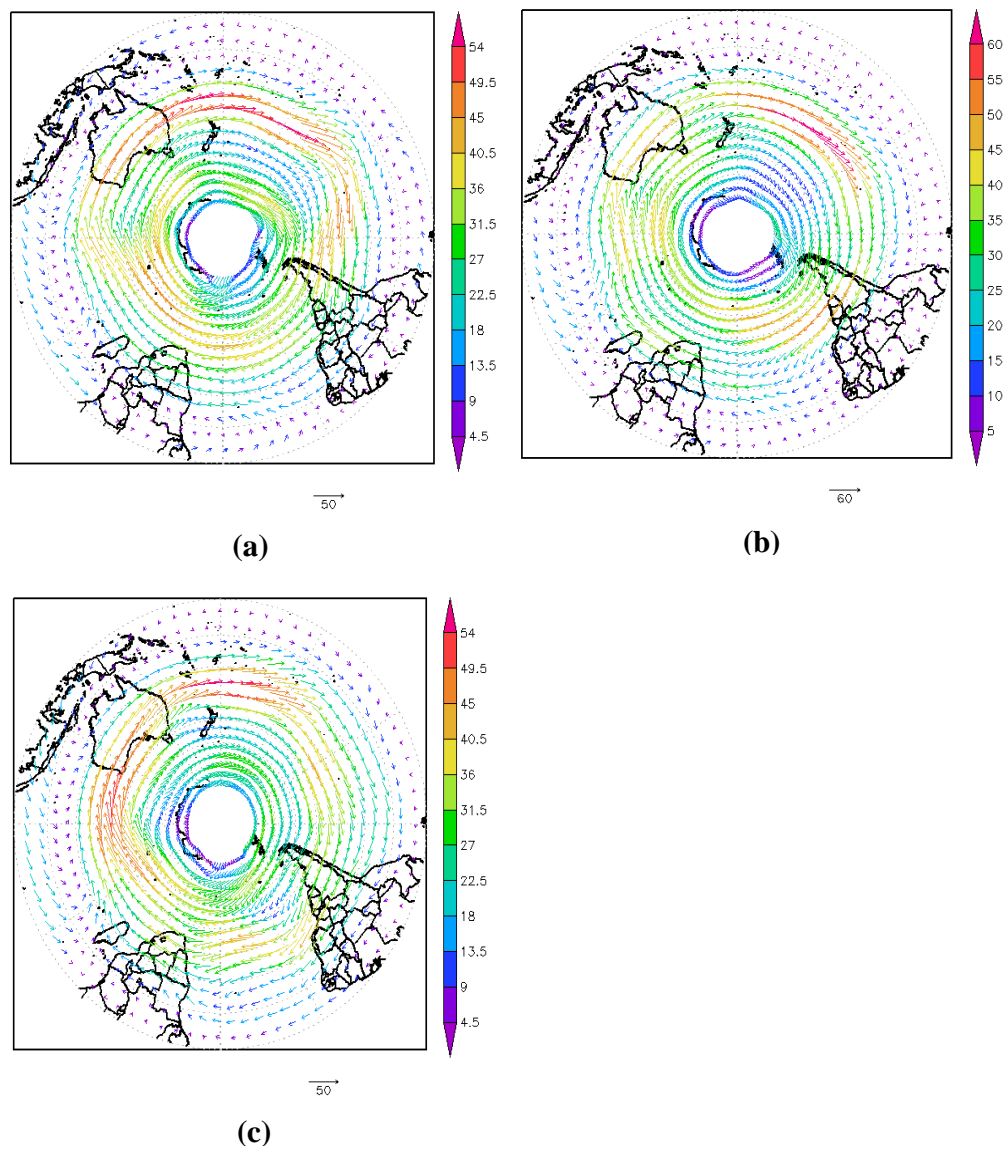
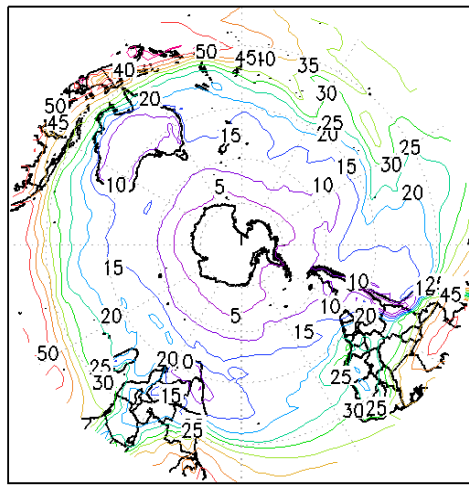


Figura 5.9 - Campos médios de vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) em 200 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento.

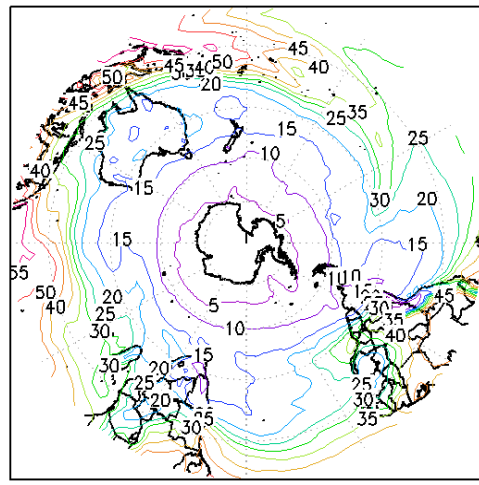
5.6. Campos médios e anômalos de água precipitável

O campo médio para dez dias antes do evento (Figura 5.10a) mostra que há valores entre 15 e 20 kg/m² de água precipitável na atmosfera sobre o SEB. Estes valores são pouco significativos se comparados com a região amazônica que é uma região potencialmente favorável à ocorrência de precipitação devido aos altos valores de calor e umidade presentes (RAO, 1996). Durante o evento (Figura 5.10b) houve um aumento de até 10 kg/m² de água precipitável na região estudada. Após o evento (Figura 5.10a) os valores de água precipitável retornaram aos valores iniciais conforme pode ser visto na Figura 5.51a.

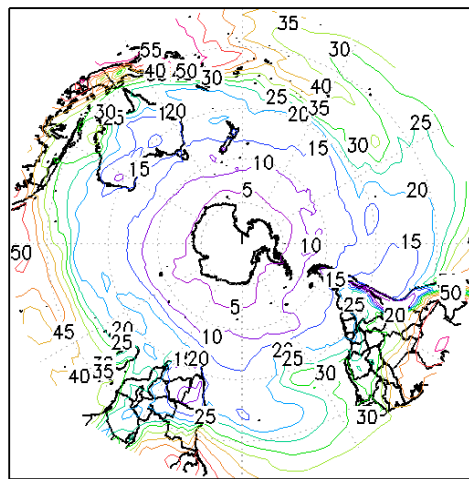
O campo anômalo de água precipitável para o período que antecede o evento (Figura 5.11a) mostrou que a região SEB estava com valores anômalos negativos de água precipitável o que leva a crer que esta região encontrava-se muito seca e pouco favorável a ocorrência de precipitação. Durante o período de atuação deste evento (Figura 5.11b) os valores continuam anormalmente negativos sobre a região estudada, porém nota-se ao sul do SEB um padrão contrário com anomalias positivas de água precipitável. O campo anômalo para os dez dias após (Figura 5.11c) mostrou que a região SEB é dominada por anomalias negativa desta variável.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.10 - Campos médios de água precipitável (kg/m^2). (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para os dez dias posteriores ao evento.

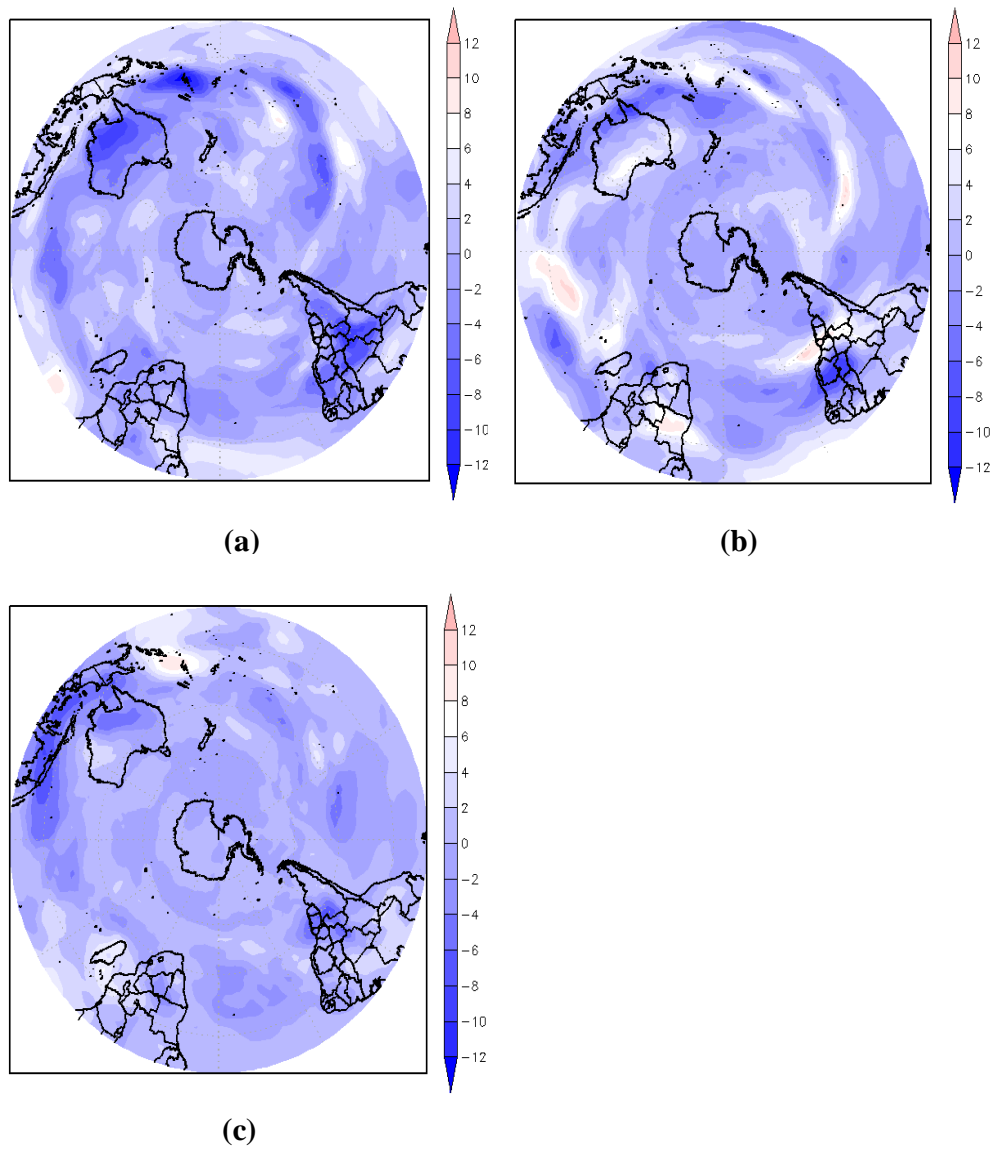


Figura 5.11 - Campos de anomalia de água precipitável (kg/m^2). (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento.

5.7. Segundo EQS ocorrido entre 2 e 10 de setembro de 1997

O mês de setembro de 1997 foi caracterizado como um mês anômalo do ponto de vista da temperatura do ar e da umidade relativa. O campo de anomalia mensal de temperatura do ar (Figura 5.12a) para o mês de setembro de 1997 mostra que este mês foi caracterizado com anomalias mensais em todo o Brasil em especial sobre o sudeste e sul do Brasil onde há valores anômalos de até 3° C. O campo de anomalia de umidade relativa também mostra valores anômalos em todo o Brasil. Destaca-se anomalias negativas de -3 % sobre o sul e SEB.

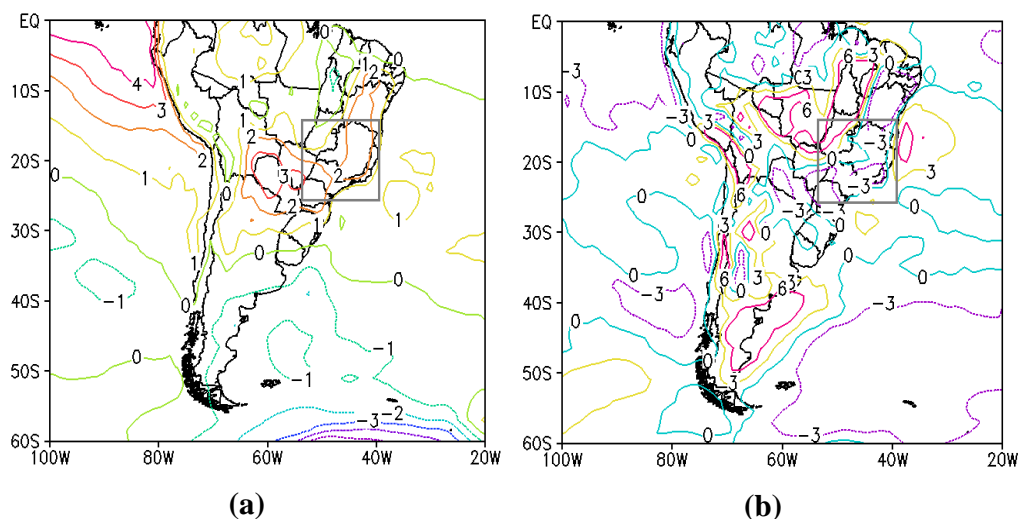


Figura 5.12 - (a) Anomalia mensal de temperatura do ar em superfície (° C) e (b) anomalia mensal de umidade relativa (%) para setembro de 1997.

Durante os dias 02 e 10 de setembro de 1997 foram observados que as anomalias de temperatura do ar em superfície (campos não apresentados), oscilaram entre 2 e 6 ° C sobre a região estudada. A tabela 4.1 mostra que as anomalias médias de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação foram de 3,5° C, -10% e -2 mm respectivamente para este período e este evento foi classificado o segundo mais intenso de acordo com a metodologia utilizada e ocorreu em ano de El Niño.

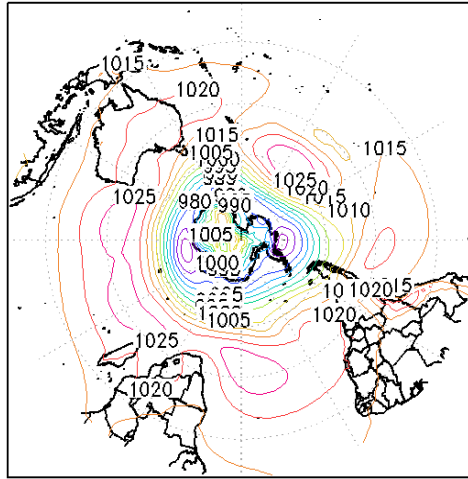
5.8. Descrição sinótica do evento II

A seguir será feita uma descrição sinótica sobre o HS dos campos atmosféricos médios e anômalos para os dez dias antes do evento, durante e dez dias posterior ao evento das seguintes variáveis: Pressão ao nível médio do mar, altura geopotencial em 500 hPa, vento em 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa e água precipitável (kg/m^2).

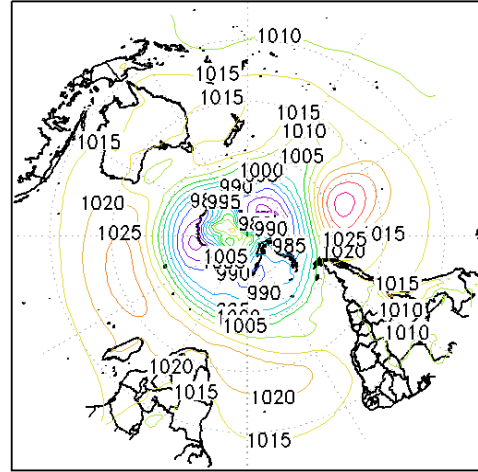
5.9. Campos médios e anômalos de pressão ao nível médio do mar.

O campo médio de pressão ao nível médio do mar para os dez dias que antecederam o evento (Figura 5.14a) mostrou que a ASPS está bem configurada sobre o Pacífico Sudeste, com centro de 1020 hPa, em quanto que a ASAS está com um núcleo de 1022 hPa. Estes valores estão dentro do que é esperado em termos climatológicos. Durante o evento (Figura 5.14b) nota-se que a ASPS se desloca mais para oeste que sua posição anterior e agora está mais intensa que anteriormente com centro de 1030 hPa. A ASAS encontra-se menos intensa e se deslocou mais para leste. Diferentemente do caso I, a ASPS apresentou valores anômalos consideráveis durante o evento. Após o evento (Figura 5.14c) a ASAS se desintensificou enquanto que a ASPS se deslocou mais para leste.

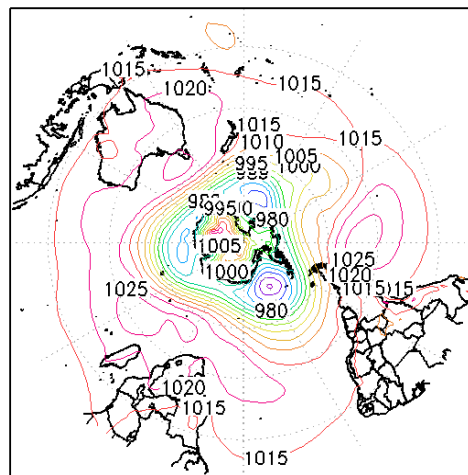
O campo anômalo de pressão ao nível médio do mar para os dez dias que antecedem o evento (Figura 5.15a) mostra uma faixa anômala negativa de pressão que se estende do oceano Índico a Antártica. Na retaguarda desta faixa há um centro anômalo positivo com centro de 150 hPa. Durante o evento (Figura 5.15b) este centro anômalo positivo se desloca mais para nordeste de sua posição inicial rompendo a faixa anômala negativa. O padrão apresentado mostra agora a presença de dois núcleos anômalos negativos e um núcleo positivo sobre o Pacífico sudeste. Após a atuação do evento (Figura 5.15c) o centro anômalo que estava atuando sobre o Pacífico sudeste se rompe dando lugar a dois outros centros.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.14 - Campo médio de pressão ao nível médio do mar (hPa). (a) para os dez dias que antecedem o evento, (b) durante o evento e (c) para dez dias posteriores ao evento.

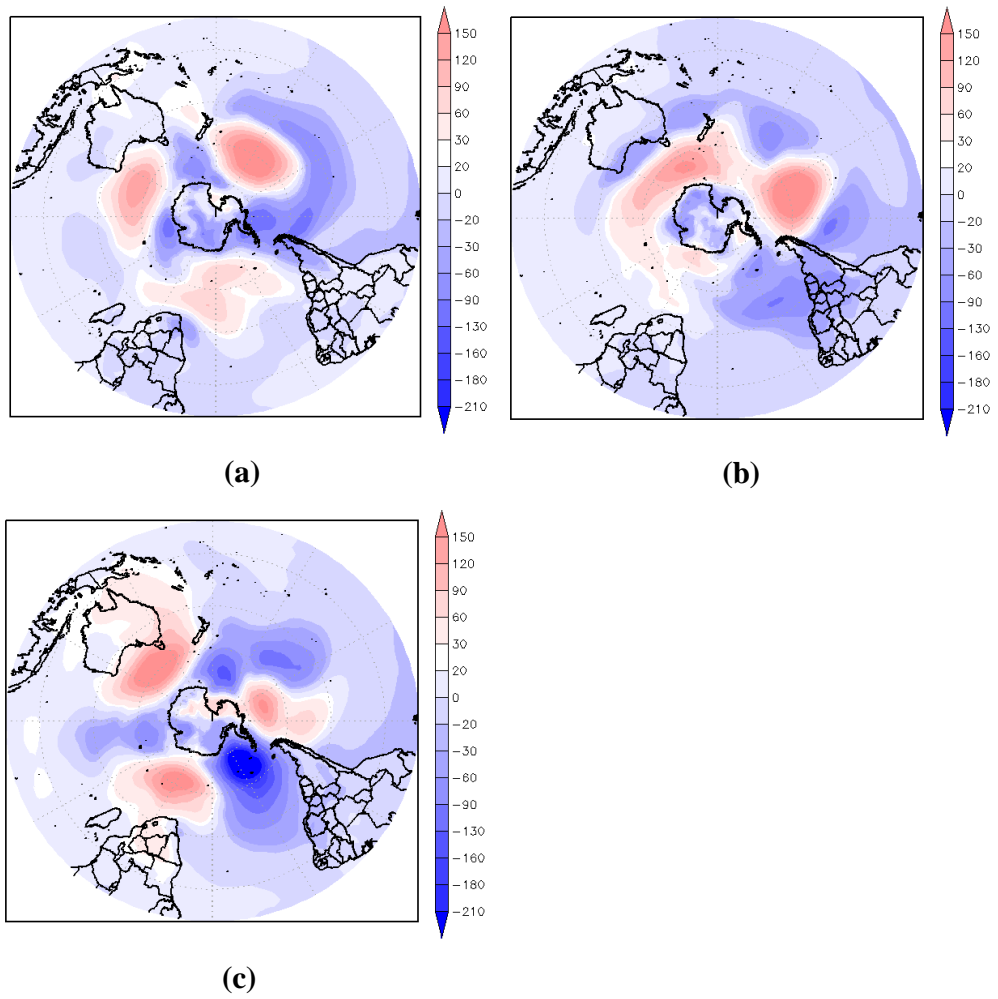


Figura 5.15 - Campo de anomalia de pressão ao nível médio do mar (hPa). (a) para os dez dias que antecedem o evento, (b) durante o evento e (c) para dez dias posteriores ao evento.

5.10. Campos médios e anômalos de altura geopotencial em 500 hPa

O campo médio durante os dez dias que antecedem o evento (Figura 5.16a) não configurou a presença de sistemas meteorológicos bem definidos na média troposfera. Durante o período deste evento, observa-se sobre o Pacífico sudeste que há uma deformidade neste campo com um padrão mais meridional na comparação com a (Figura 5.16a). Este padrão sugere estar associado à presença de um bloqueio do tipo Ômega invertido, o que corrobora com os resultados de Damião (2007). Tudo leva a crer que este sistema possa ter intensificado a ASPS (Figura 5.16b) o qual está bastante intensa. Após o evento (Figura 5.16c) o campo de anomalia de altura geopotencial mostrou-se com pouca variação na comparação com o período de atuação sobre o Pacífico Sul e Atlântico Sul.

O campo de anomalia de altura geopotencial para os níveis médios (Figura 5.17a) mostra diversos centros anômalos positivos e negativos na região extratropical. Destaca-se sobre a costa oeste do Chile um centro anômalo de 180 mgp. Durante o evento (Figura 5.17b) o centro descrito anteriormente dá lugar a um centro anômalo negativo bastante expressivo que atua sobre o Pacífico sudeste. O padrão observado durante este evento sugere a presença de um bloqueio do tipo ômega invertido sobre o Pacífico Sul, o qual pode inibir a progressão de sistemas frontais, centros de pressão e outros sistemas cheguem ao SEB do Brasil, favorecendo a ocorrência do EQS sobre esta região. O reflexo deste sistema pode ser visto em superfície no campo de pressão ao nível médio do mar (Figura 5.14b). Após o EQS (Figura 5.17c) observa-se que há uma quebra no sistema descrito.

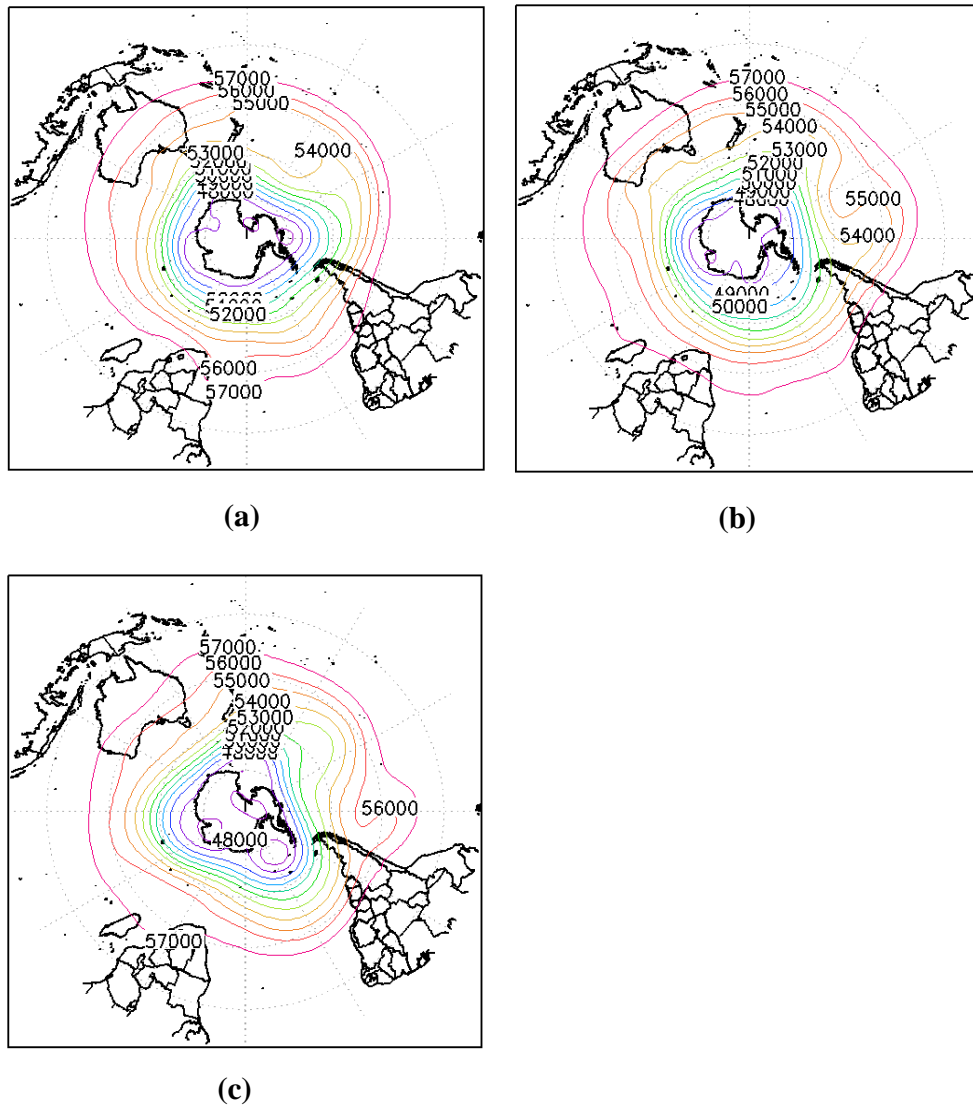


Figura 5.16 - Campo médio de geopotencial (m) em 500 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento.

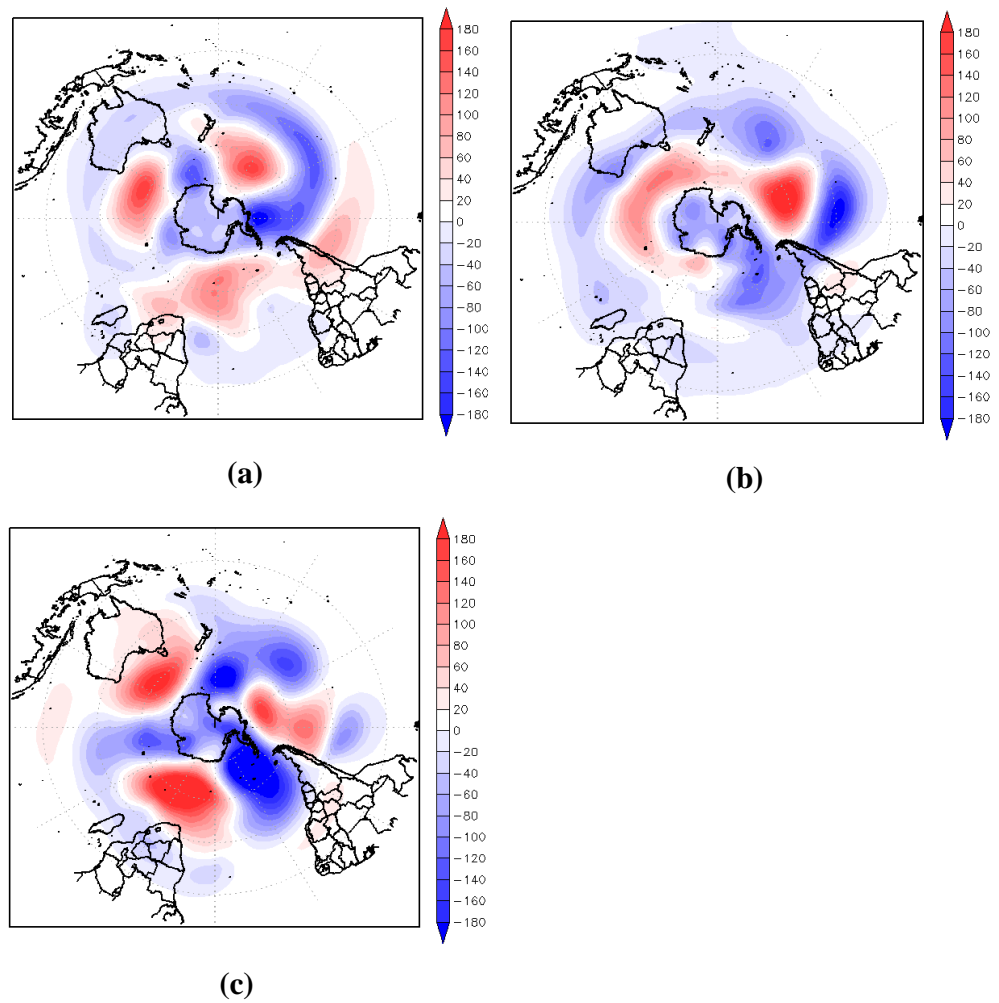


Figura 5.17 - Campos de anomalia de geopotencial (mgp) em 500 hPa. (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento.

5.11. Campo médio de vento em 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa

O campo médio durante os dez dias que antecederam o evento (Figura 5.18a) mostra ventos fracos sobre a região e um movimento anticiclônico pouco configurado entre 30 e 35°S. Durante o EQS (Figura 5.18b) observa-se a presença de um intenso movimento anticiclônico no Pacífico sul o qual indica ser a ASPS. Ao sul desta alta os ventos são bastante intensos com intensidade acima de 19 m.s⁻¹. Sobre o Brasil destacam-se ventos no sentido noroeste da Amazônia e Sul do Brasil. Este padrão sugere a presença do jato de baixos níveis, o qual está associado ao transporte de calor e umidade para a região Sul Brasileira. Após o EQS (Figura 5.18c) os ventos apresentaram maior intensidade sobre o Sul e SEBl com valores de até 15 m.s⁻¹.

Em níveis médios o campo de vento para o período que antecede o evento (Figura 5.19a) não configurou a presença de sistemas sinóticos sobre a AS. Durante sua atuação (Figura 5.19b) observa-se a presença de fortes ventos com intensidade acima de 40 m.s⁻¹ sobre o Sul da AS os quais levam a crer estar associado a um jato subtropical, destaca-se no Pacífico Sul entre 129 ° W e 150 ° W uma circulação com tendência anticiclônica. A leste desta circulação há a presença de um cavado o qual está associado ao movimento descendente. Após o evento (Figura 5.19c) verifica-se uma quebra do movimento de oeste sobre o Pacífico Sul e sugere estar associado a um cavado.

No nível de 200 hPa para o período que antecede o EQS (Figura 5.20a) o campo médio não apresentou características significativas do ponto de vista sinótico. Durante sua atuação (Figura 5.20b) o campo médio mostrou ventos bastante intensos acima de 60 m.s⁻¹, sobre o Sul da AS e indica estar associado à presença do jato subtropical. Este padrão observado é similar ao visto no primeiro EQS (Figura 5.20b), porém mais intenso que o caso anterior. Tudo indica que este jato possa ter contribuído para que os sistemas frontais não receberam suporte necessário de altos níveis para progredirem até o SEB. Após o EQS (Figura 5.38c) os ventos continuam intensos porém atuam agora mais sobre o Atlântico Sul.

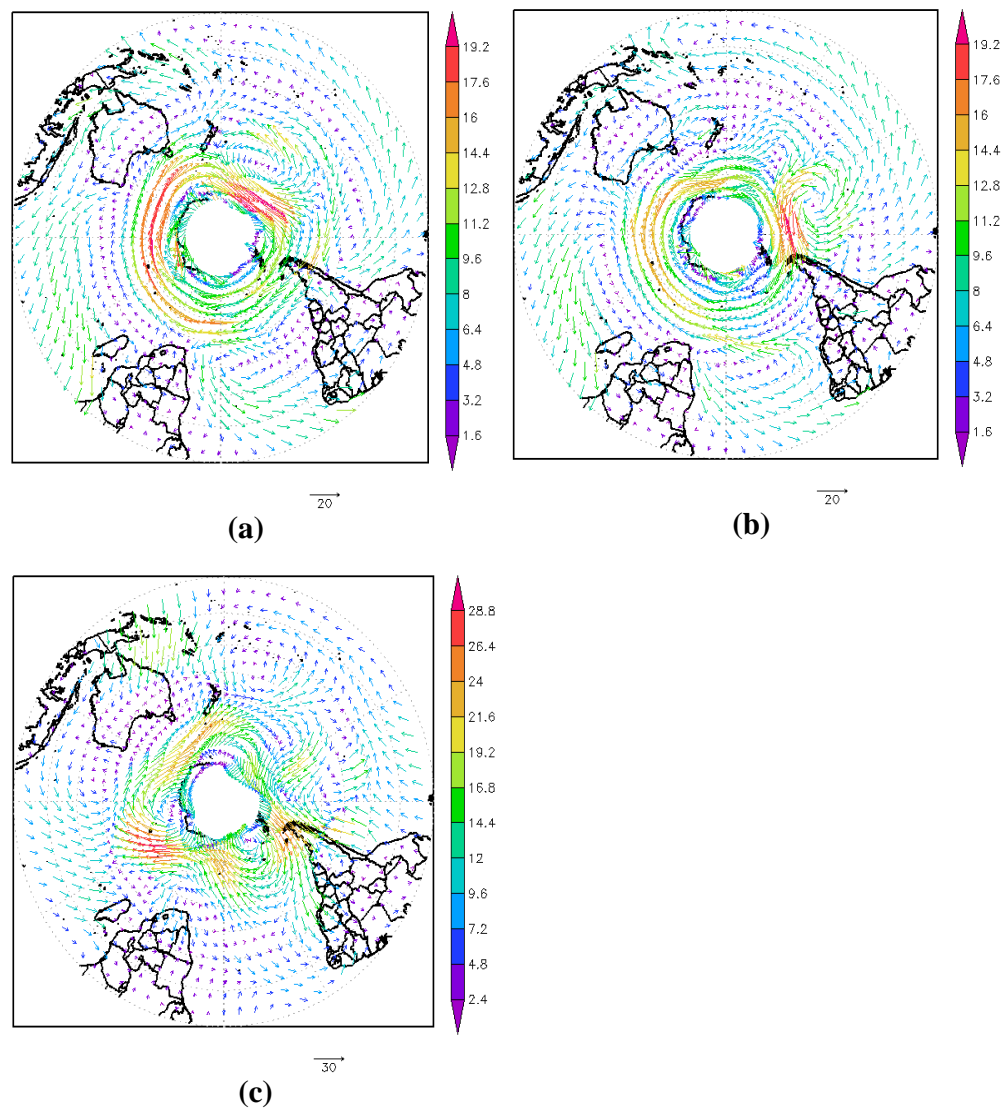


Figura 5.18 - Campos médios de vento (m.s^{-1}) em 925 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento.

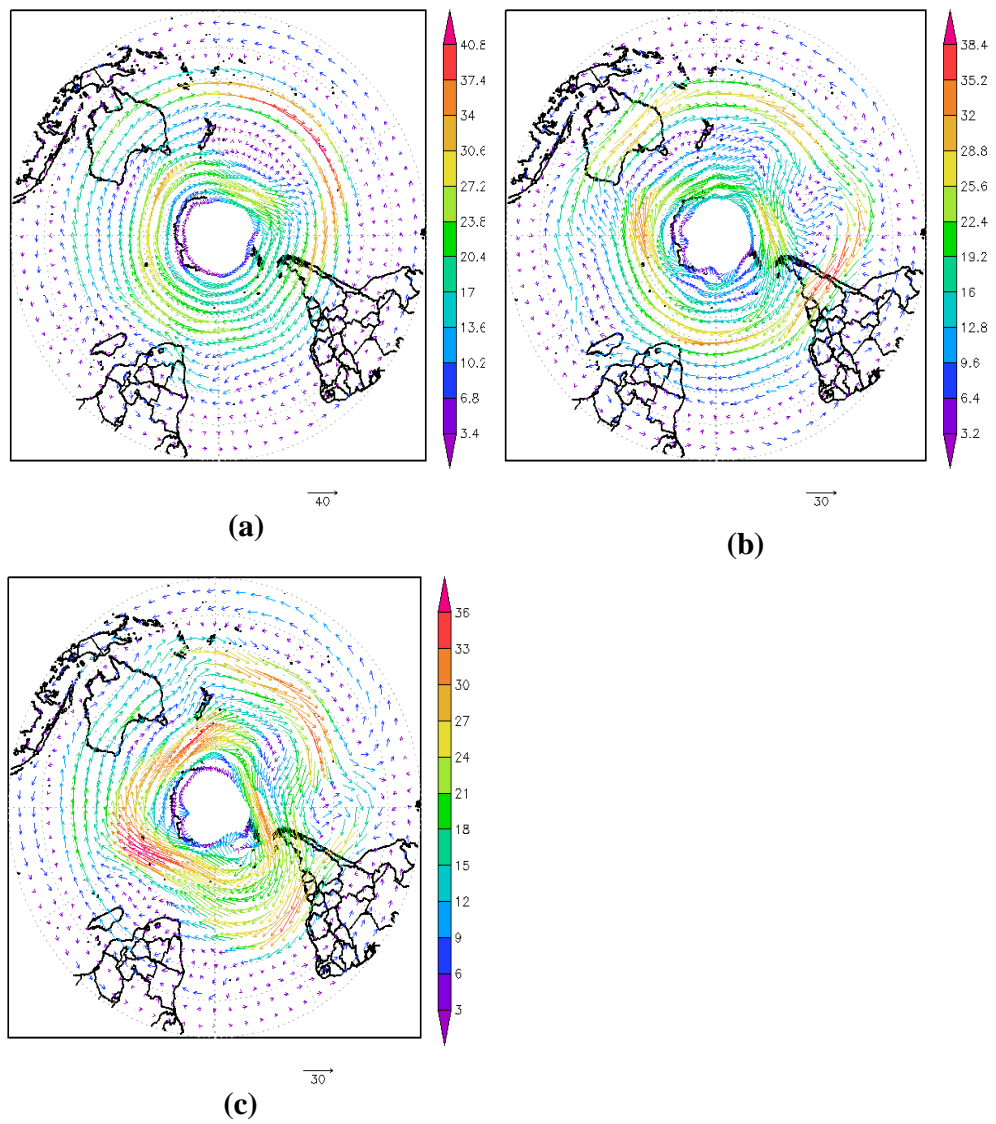


Figura 5.19 - Campos médios de vento (m.s^{-1}) em 500 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento.

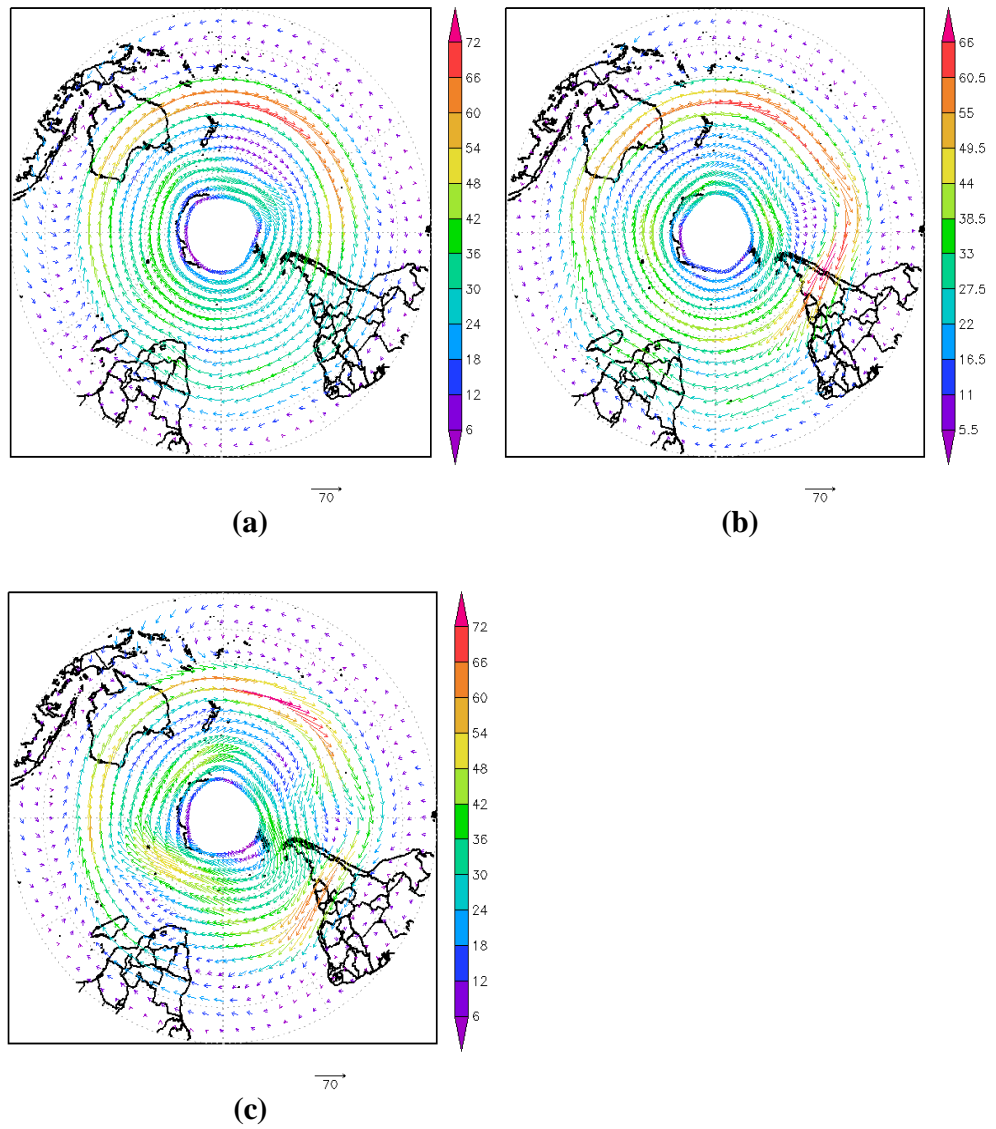


Figura 5.20 - Campos médios de vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) em 200 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento.

5.12. Campos médios e anômalos de água precipitável.

O campo médio durante os dez dias que antecederam o evento (Figura 5.21a) mostra que há valores entre 15 e 20 kg/m² de água precipitável sobre o SEB. Durante o período de atuação (Figura 5.21b) houve um incremento de até 10 kg/ m² na comparação com o campo anterior sobre a o SEB e embora o valor tenha aumentado ainda há pouca quantidade de água presente na atmosfera potencialmente favorável a ocorrência de precipitação. O campo médio para os dez dias após (Figura 5.21c) mostra pouca variação deste campo se comparado com o período de atuação.

O campo anômalo de água precipitável para o período que antecede o evento (Figura 5.22a) mostrou valores anômalos negativos de água precipitável de até -6 kg/m² sobre o SEB o que leva a crer que esta região estava muito seca e desfavorável a ocorrência de precipitação. Destaca-se uma faixa zonal de anomalias positivas de água precipitável que se estende do Indico ao PS passando pelo sul da AS a qual sugere está associada a centros de alta pressão inibidores de nuvens de chuva. Durante o período de a atuação (Figura 5.22b) os valores continuam anormalmente negativos sobre a região estudada, porém nota-se sobre a região sul do Brasil um padrão contrário com anomalias positivas de água precipitável. Após o evento (Figura 5.22c) mostra aumento de água precipitável sobre a parte sul do COB e SEB.

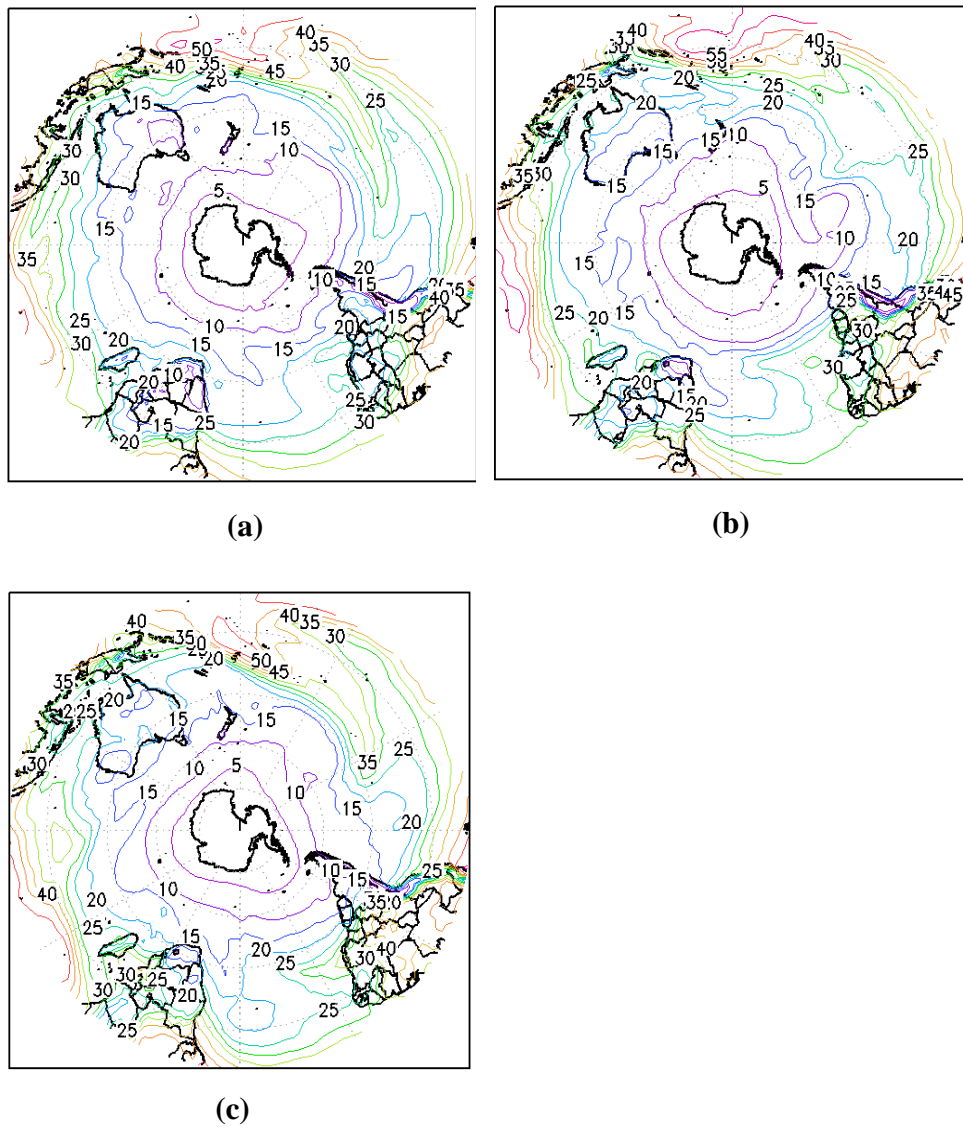


Figura 5.21 - Campos médios de água precipitável (kg/m^2). (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para os dez dias posteriores ao evento.

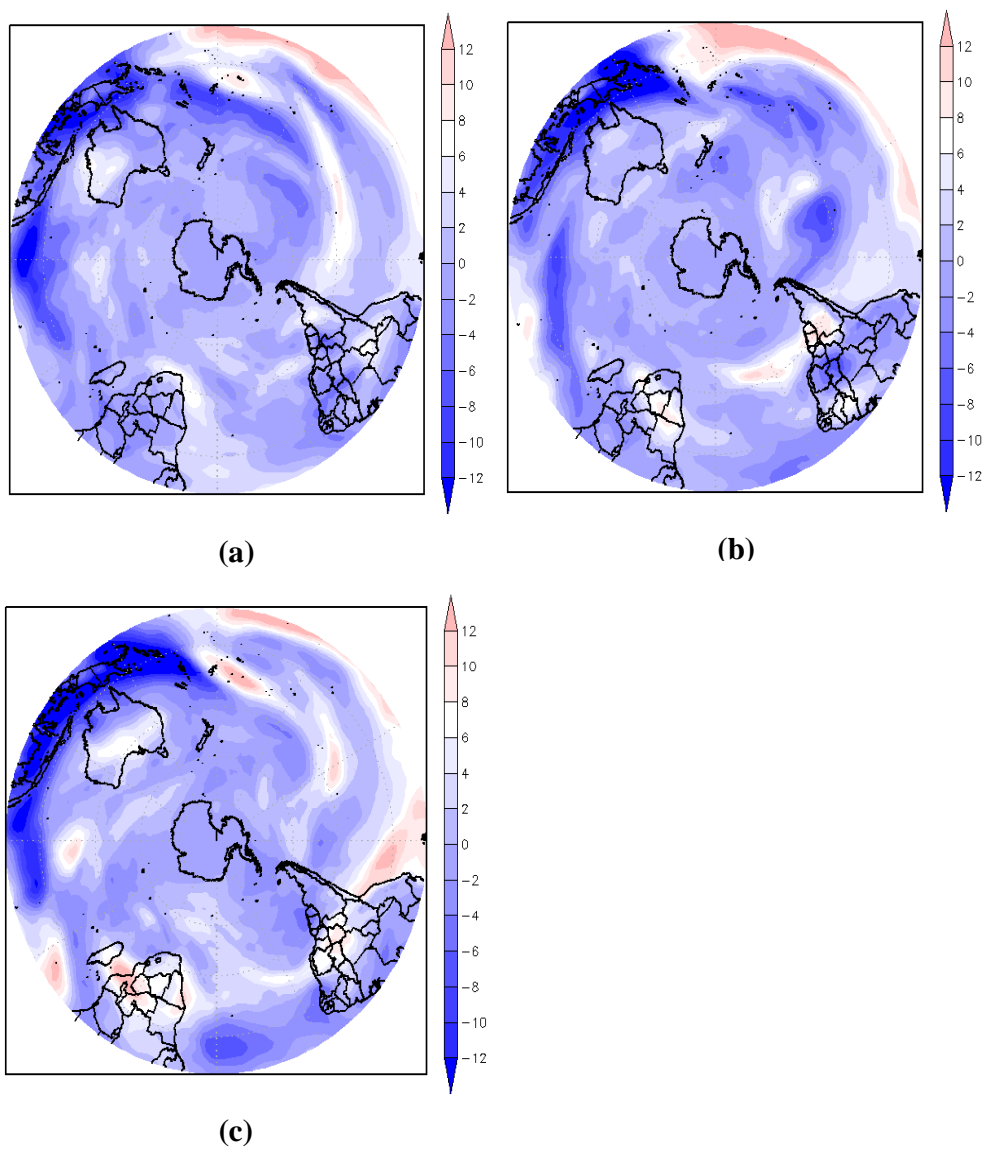


Figura 5.22 - Campos de anomalia de água precipitável (kg/m^2). (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento.

5.13. Terceiro EQS ocorrido entre 4 e 14 de junho de 2002

O mês de junho de 2002 foi caracterizado como um mês anômalo do ponto de vista da temperatura do ar e da umidade relativa. O campo de anomalia mensal de temperatura do ar (Figura 5.23a) para o mês de junho de 2002 mostra que este mês foi caracterizado com anomalias mensais em todo o Brasil em especial sobre o sudeste e sul do Brasil onde há valores anômalo de até 2° C. O campo de anomalia de umidade relativa também mostra valores anômalo em todo o Brasil onde observam-se anomalias negativas entre de até -6 % sobre o sul da Amazônia, centro oeste e sudeste do Brasil.

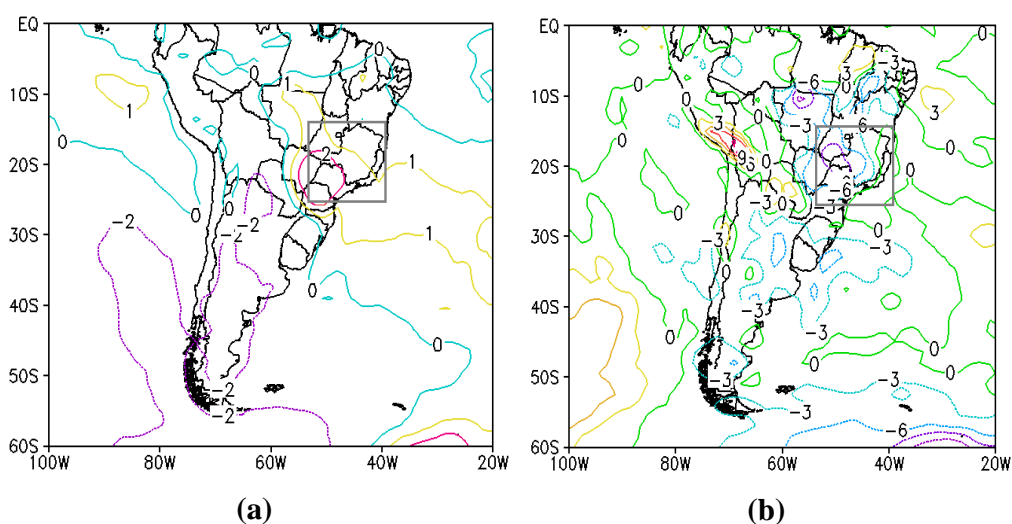


Figura 5.23 - (a) Anomalia mensal de temperatura do ar em superfície (° C) e (b) anomalia mensal de umidade relativa (%) para junho de 2002.

Durante os dias 04 e 14 de junho de 2002 foram observados que as anomalias de temperatura do ar em superfície (campos não apresentados), oscilaram entre 2 e 4 ° C sobre a região estudada. A tabela 4.1 mostra que as anomalias médias de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação foram de 2,7° C, -5% e -1mm respectivamente para este período e este evento foi classificado o terceiro mais intenso de acordo com a metodologia utilizada e também ocorreu em ano de El Niño.

5.14. Descrição sinótica do evento III

A seguir será feita uma descrição sinótica sobre o HS dos campos atmosféricos médios e anômalos para os dez dias que antecederam o evento, durante o evento e dez dias posterior ao evento das seguintes variáveis: Pressão ao nível médio do mar, altura geopotencial em 500 hPa, vento em 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa e água precipitável.

5.15. Campos médios e anômalos de pressão ao nível médio do mar

O campo de pressão ao nível médio do mar para antes do evento (Figura 5.25a) é sugestível a presença da ASPS e ASAS com núcleo de 1020 hPa. Durante o evento (Figura 5.25b) nota-se que a ASPS e a ASAS se deslocam mais para leste e agora estão mais intensas com centro de 1025 hPa. Após o evento (Figura 5.25c) a ASPS se desintensificou e ASAS se afastou mais para leste de sua posição anterior. O campo analisado mostrou que durante o evento a ASPS e ASAS estavam menos intensas se comparadas com o eventos I e II para o mesmo período.

O campo anômalo de pressão ao nível médio do mar para dez dias antes (Figura 5.26a) apresentou um centro anômalo positivo que sugere ser a ASPS e outro centro anômalo positivo ao sul desta região. Durante o evento (Figura 5.26b) observa-se que o centro anômalo positivo visto na figura anterior ficou mais intenso e agora está mais estirado (meridionalmente) entre a Antártica e o Pacífico sudeste. Este padrão indica estar associado a intensos movimentos verticais subsidentes os quais podem inibir a progressão de sistemas transientes cheguem ao sudeste do Brasil. O campo anômalo para os dez dias posteriores ao evento (Figura 5.26c) mostraram uma desintensificação do centro anômalo.

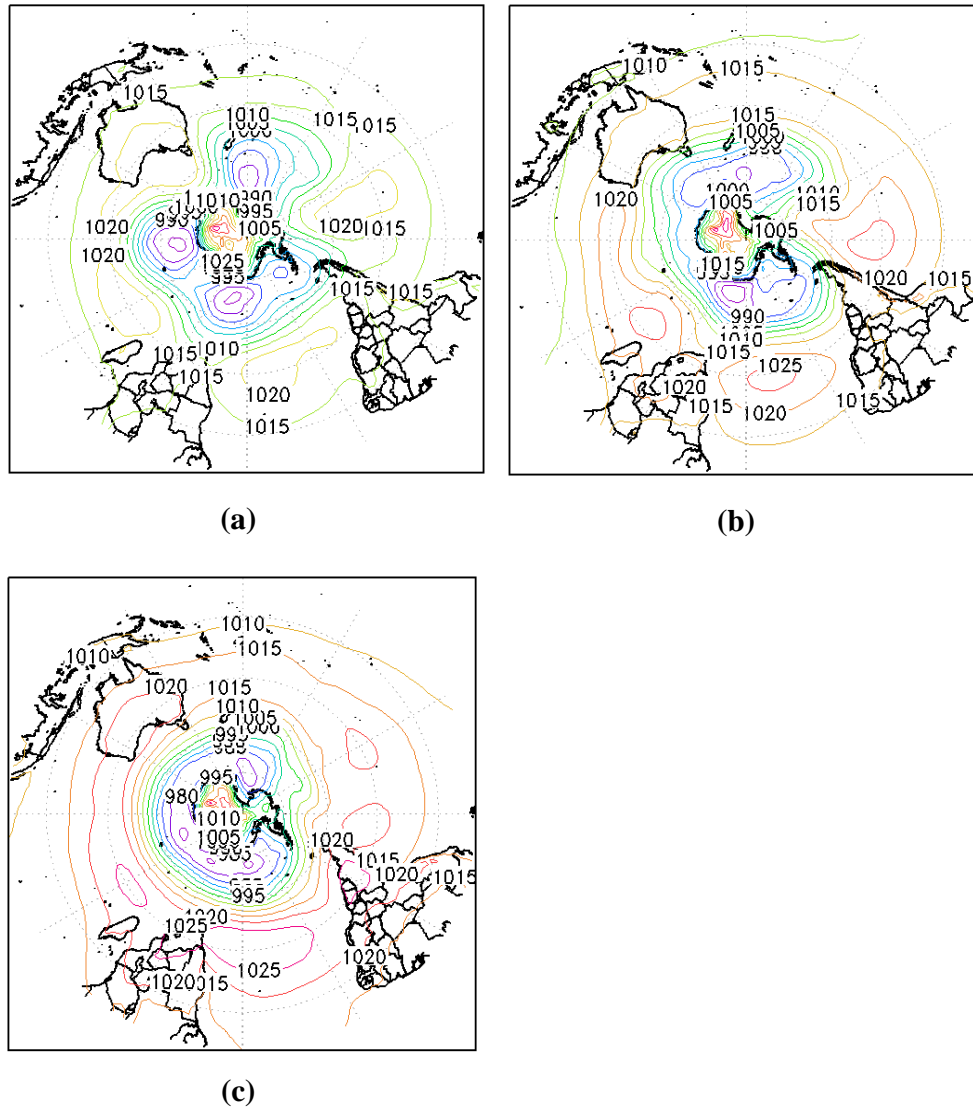


Figura 5.25- Campo médio de pressão ao nível médio do mar (hPa). (a) para os dez dias que antecedem o evento, (b) durante o evento e (c) para dez dias posteriores ao evento.

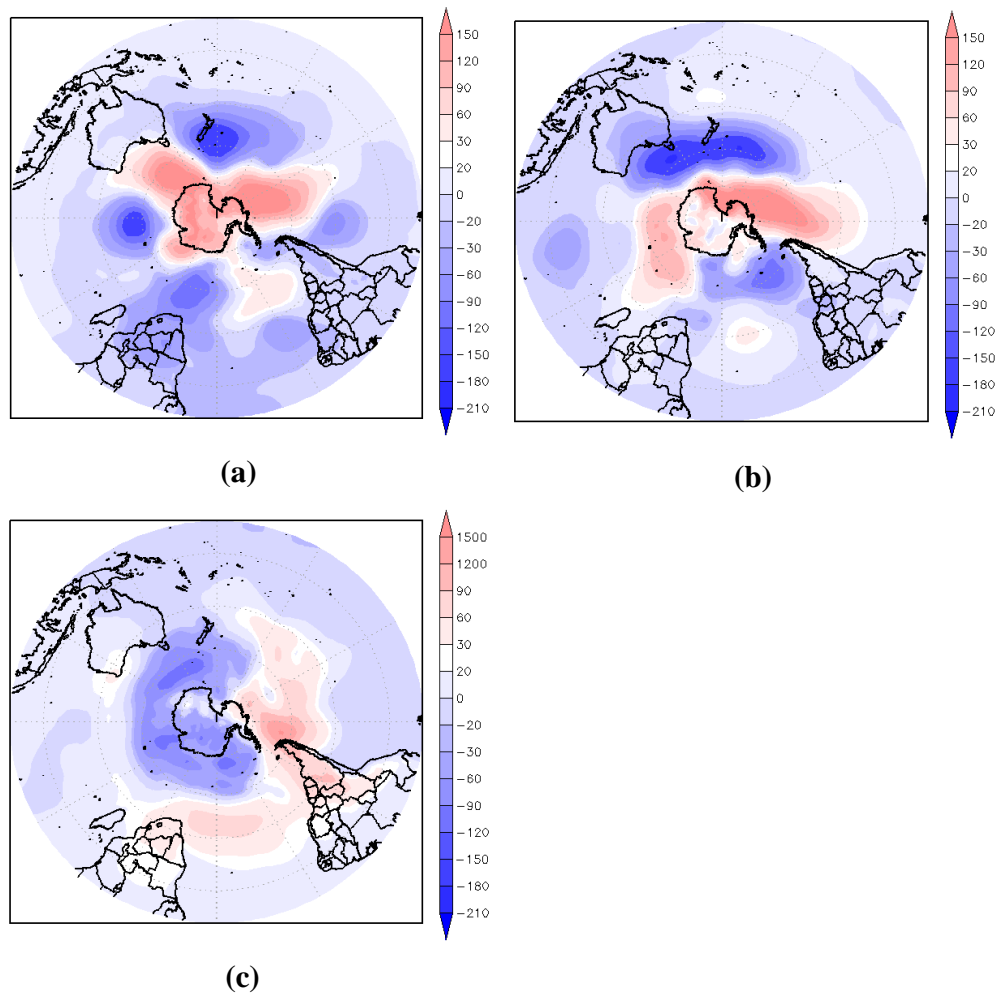
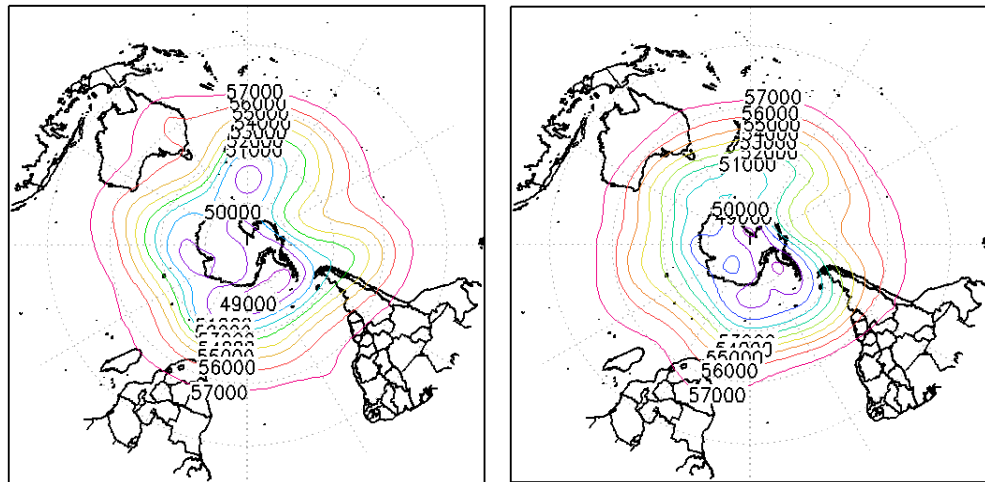


Figura 5.26 - Campos de anomalia de pressão ao nível médio do mar. (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento.

5.16. Campos médios e anômalos de altura geopotencial em 500 hPa

O campo de altura geopotencial para os dez dias antes do evento (Figura 5.27a) mostra um escoamento predominantemente meridional sobre o Pacífico sul, além da presença de um cavado sobre o Pacífico sudeste. Durante este evento (Figura 5.27b) o cavado presente o campo anterior se desloca para leste e atua agora sobre o sul da AS. Os campos diários de altura geopotencial (figuras não apresentadas) para o período de atuação do evento, mostraram um cavado semi-estacionário bastante pronunciado que se estendia por grande parte do sul da AS entre os dias 6 e 11 de junho de 2002. Após o evento (Figura 5.27c) o cavado se propagou mais para leste apresentando quebra do padrão de bloqueio.

O campo de anomalia de altura geopotencial para antes do evento (Figura 5.28a) apresentou diversos centros anômalos positivos e negativos ao longo das latitudes extra-tropical. Destacam-se três centros anômalos sobre o Pacífico sul e parte do Índico sendo dois centros anômalos negativos e um positivo. Estes centros apresentam um padrão característico de uma situação de bloqueio do tipo dipolo conforme descrito em Marques (1996). Durante o EQS (Figura 5.28b) os centros apresentaram uma leve desintensificação e o centro anômalo positivo está zonalmente mais estirado sobre o Pacífico sul. O reflexo deste estiramento é observado também em superfície no campo de anomalia de pressão ao nível médio do mar. Após o evento (Figura 5.28c) observa-se a presença de um centro anômalo com centro de 180 mgp atuando sobre o Chile e região adjacente.



(a)

(b)

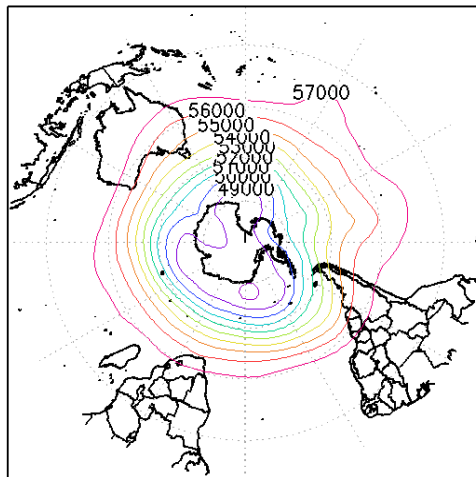


Figura 5.27- Campo médio de geopotencial (mgs) em 500 hPa. (a) para os dez dias que antecedem o evento, (b) durante o evento e (c) para dez dias posteriores ao evento.

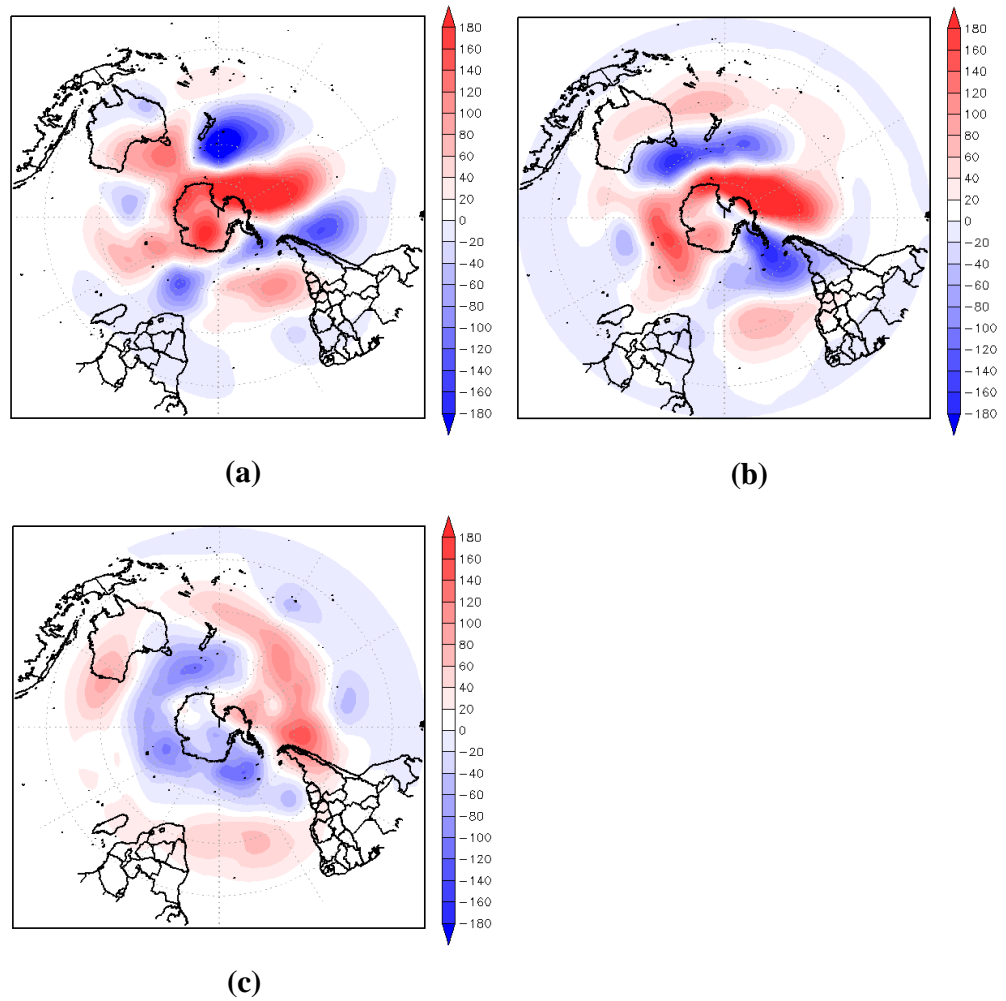


Figura 5.28 - Campos de anomalia de altura geopotencial (mgs) em 500 hPa. (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento.

5.17. Campo médio de vento em 925 hPa, 500 hPa e 200 hPa

O campo médio durante os dez dias que antecederam o evento (Figura 5.29a) apresenta um padrão de vento próximo a costa do SEB que sugere estar associado a presença de um cavado embora ele não está bem configurado no campo de pressão ao nível médio do mar (Figura 5.25a). Durante o evento (Figura 5.29b) o campo médio do vento configura a presença da ASAS e da ASPS. Sobre o SEB os ventos são predominantemente de nordeste. Após o EQS (Figura 5.29c) o vento fica menos intenso sobre grande parte do Brasil na comparação com o período de atuação.

O campo médio em 500 hPa para o período que antecede o EQS (Figura 5.30a) sugere a presença de uma crista e dois cavados sobre o Pacífico sul. O padrão de vento apresentado sugere a presença de um bloqueio do tipo ômega invertido conforme descrito no campo médio de altura geopotencial (Figura 5.27a).

Durante o EQS (Figura 5.30b) observa-se que a leste deste sistema há uma área de ventos máximos que indica estar associada a presença do jato subtropical com ventos de até 33 m.s⁻¹. Após o EQS (Figura 5.30c) o bloqueio e o jato se desintensificaram.

Em altos níveis o campo médio anterior ao EQS (Figura 5.31a) mostrou um cavado sobre o Pacífico sudeste e outro a leste do SEB. O primeiro cavado sugere estar associado ao bloqueio presente nos níveis médios conforme mostra a figura 5.30a. Durante o período de atuação (Figura 5.31b) observa-se uma área de ventos máximos localizada entre Chile e o Atlântico Sul e possui ventos acima de 60 m.s⁻². Este jato parece ser similar ao observado no campo médio de vento em altos níveis (Figura 5.19c) para o evento II. Após o evento (Figura 5.31c) o jato se deslocou mais para leste da região que se encontrava anteriormente.

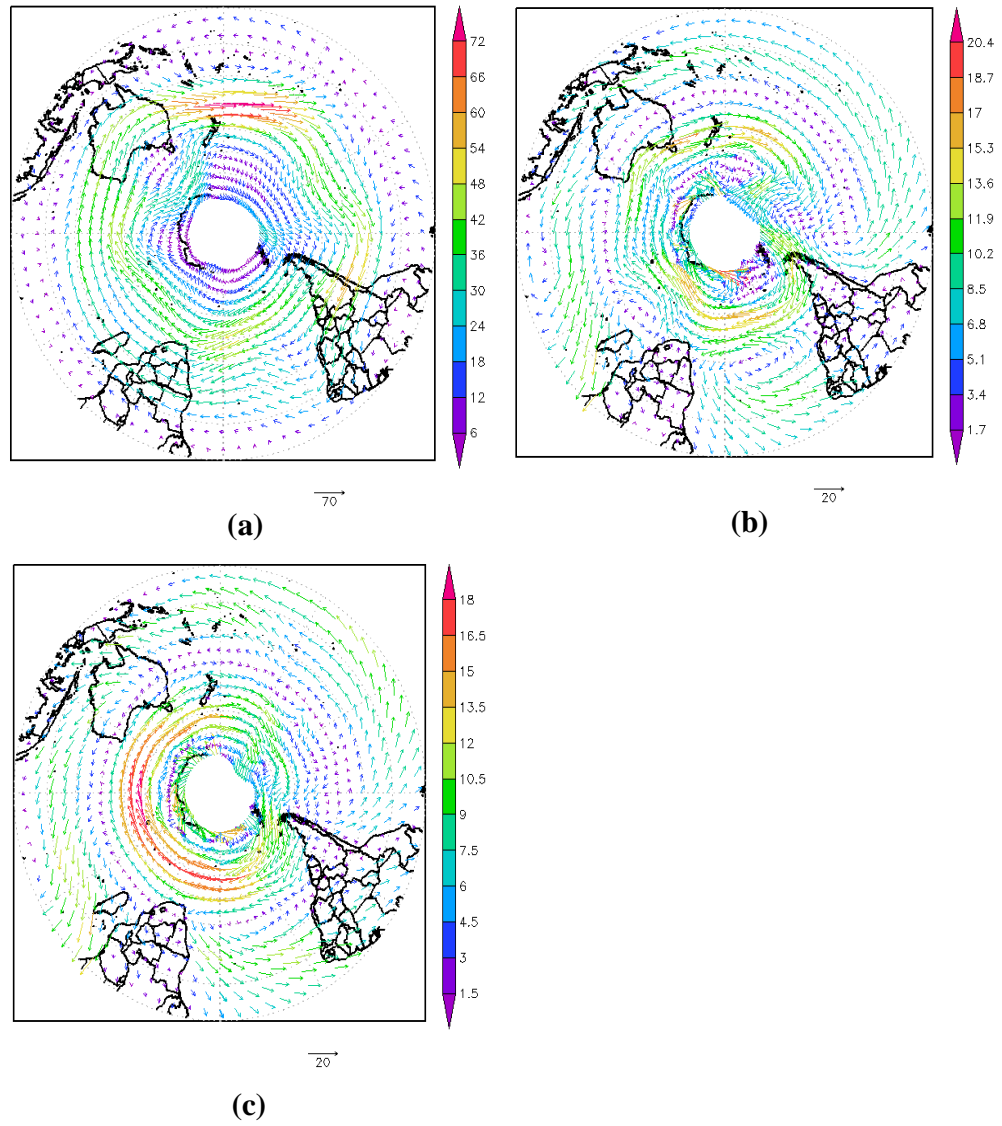


Figura 5.29 - Campos médios de vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) em 925 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento.

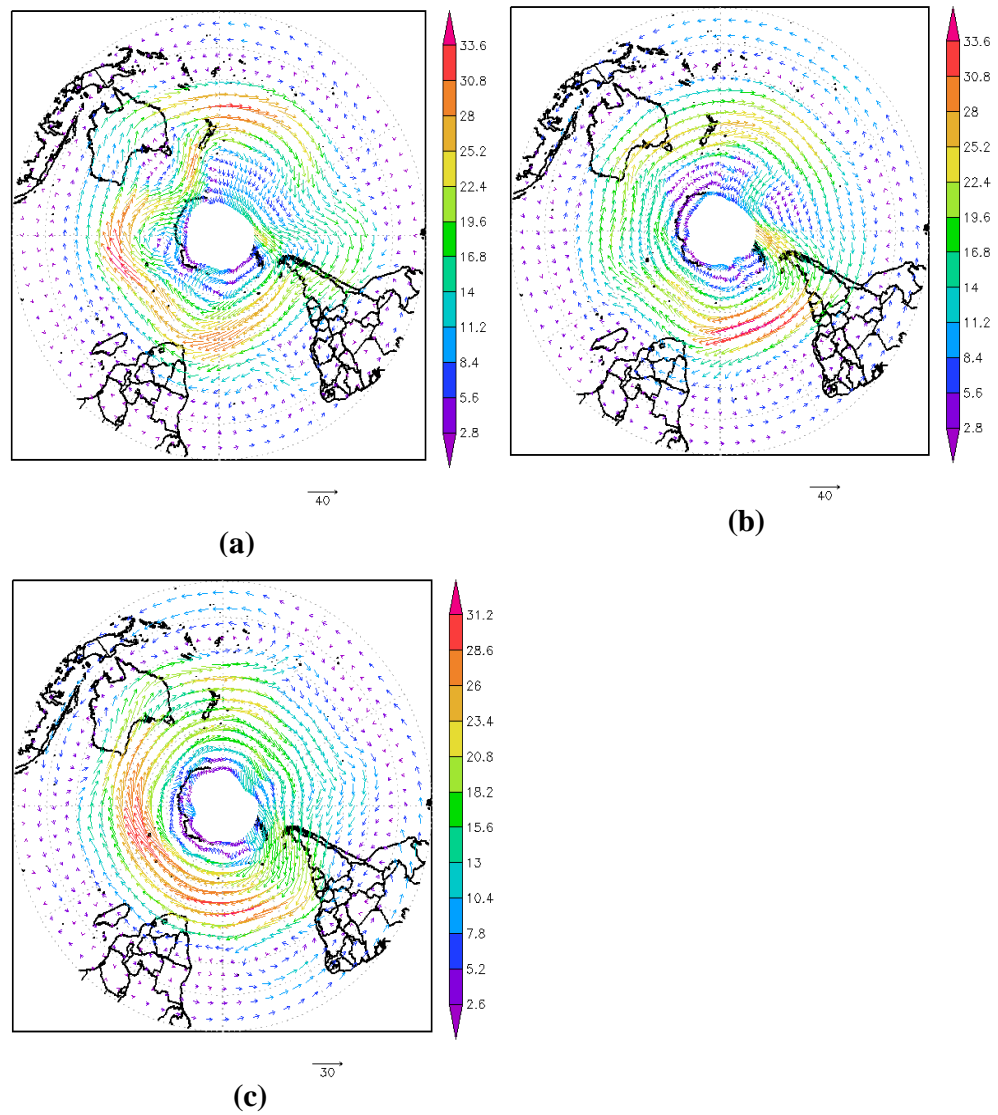


Figura 5.30 - Campos médios de vento (m.s^{-1}) em 500 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento.

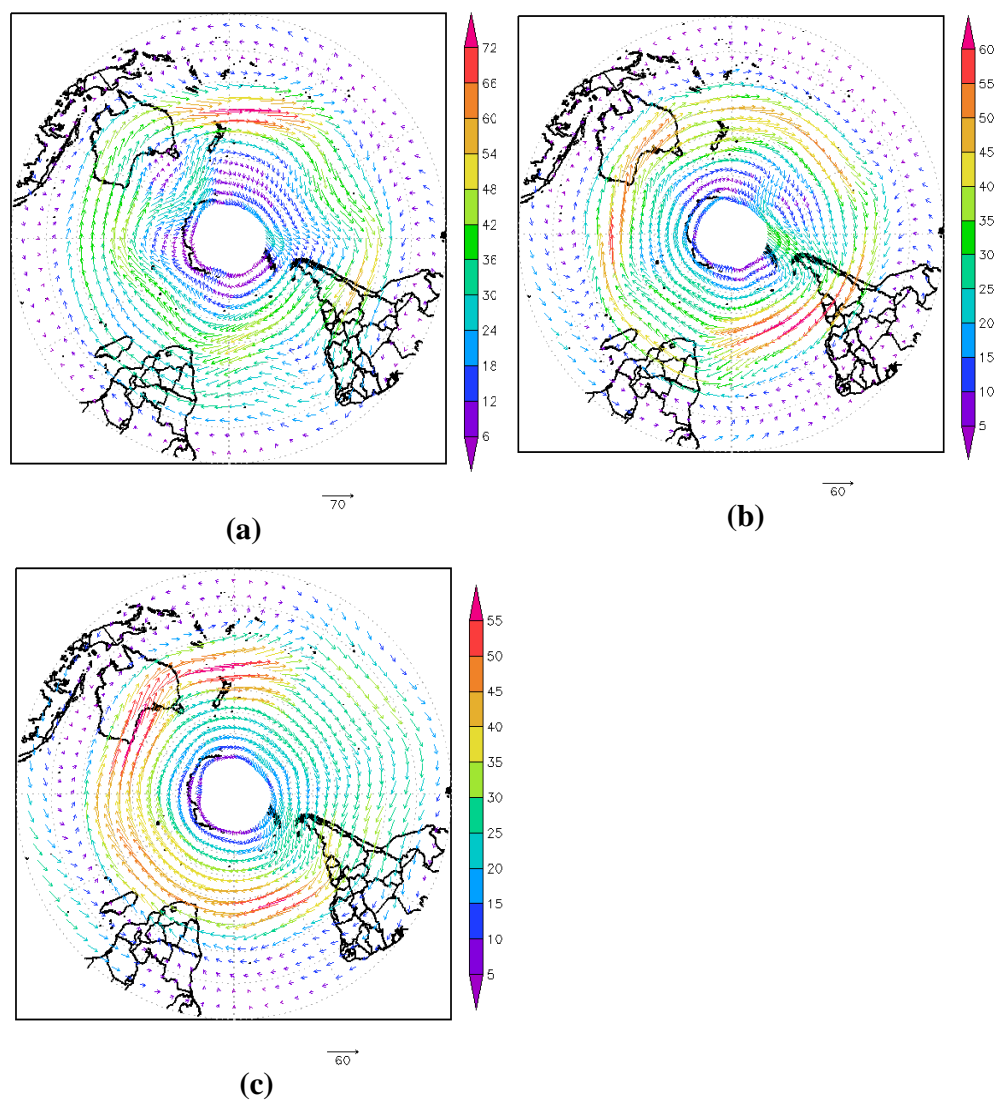


Figura 5.31- Campos médios de vento (m.s^{-1}) em 200 hPa. (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para dez dias após o evento.

5.18. Campos médios e anômalos de água precipitável

O campo médio para antes do evento (Figura 5.32a) mostra que há valores entre 25 e 30 kg/m² de água precipitável sobre o SEB o que corresponde aproximadamente à metade do valores existentes na Amazônia. Durante e após o evento (Figuras 5.32a e 5.32b) os valores não apresentaram variação significativa na comparação com o período anterior ao evento.

O campo anômalo de água precipitável para antes (Figura 5.33a) mostrou valores anômalos negativos de água precipitável entre -4 e -6 kg/m² sobre o SEB o que sugere que esta região estava muito seca e pouco favorável à ocorrência de precipitação durante este período. Durante e após o evento (Figuras 5.33b e 5.33c) os valores apresentaram pouca variação na comparação com o período anterior (Figura 5.33a).

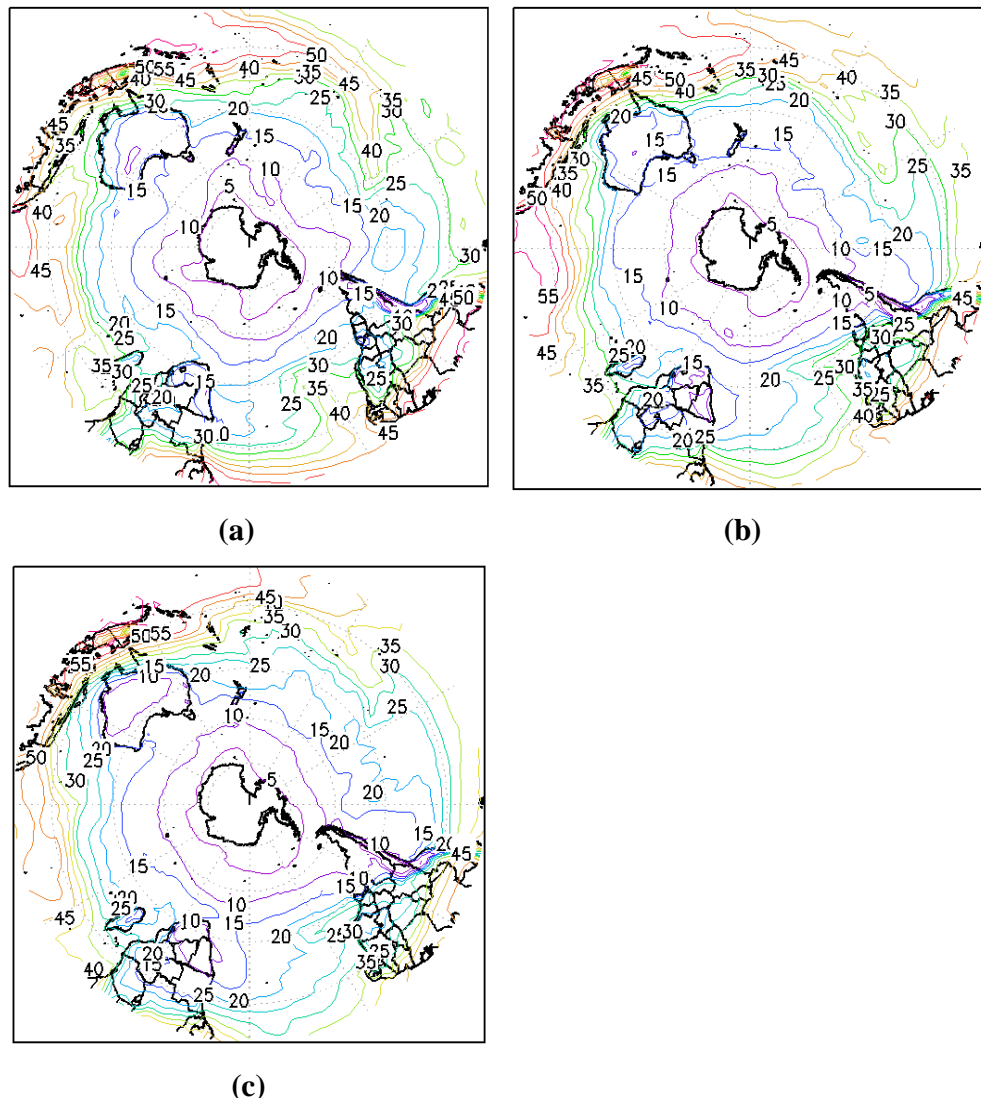


Figura 5.32- Campos médio de água precipitável (kg/m^2). (a) média para os dez dias que antecedem o evento, (b) média durante o evento e (c) média para os dez dias posteriores ao evento.

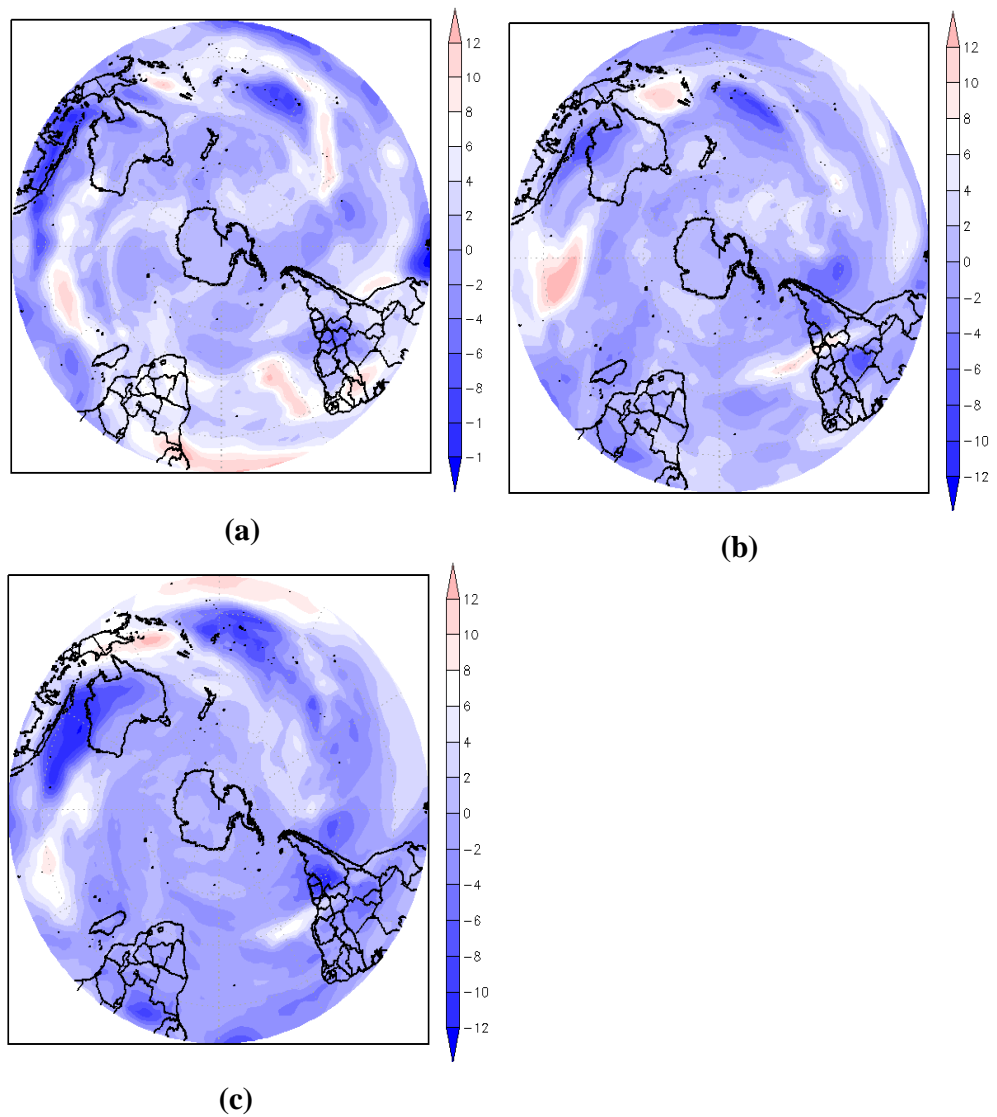


Figura 5.33- Campos de anomalia de água precipitável (kg/m^2). (a) anomalia para os dez dias que antecedem o evento, (b) anomalia durante o evento e (c) anomalia para dez dias posteriores ao evento.

5.19. Síntese comparativa entre os três eventos mais intensos

Os campos médios de pressão ao nível médio do mar para antes e durante os eventos I e III configuraram a presença das ASPS e ASAS com intensidade dentro da normal para o inverno (BASTOS e FERREIRA, 2000). Já o evento II configurou a ASPS com intensidade acima da normal climatológica.

O campo anômalo de pressão ao nível médio do mar mostrou que o evento II apresentou uma faixa anômala positiva circundada por duas faixas anômalas negativas durante o período de atuação, enquanto que o evento III mostrou a presença de uma faixa anômala positiva que se estende do Polo sul ao Pacífico sudeste. O evento I foi pouco expressivo do ponto de vista anômalo.

O campo médio de altura geopotencial em 500 hPa para antes do evento II mostrou a presença de uma onda zonal que se estendia do Pacífico sul ao sul do sudeste do Brasil, enquanto que o evento III configurou um escoamento que sugere estar associado a presença de um bloqueio do tipo ômega invertido.

Durante o evento II, o padrão apresentado sugeriu estar associado a presença de um bloqueio do tipo ômega invertido. Enquanto que os eventos I e III não sugerem estra associado a nenhum dos tipos de bloqueio existentes.

O campo de anomalia de altura geopotencial, sugeriu a presença de um bloqueio do tipo ômega invertido para antes do evento II e durante o evento III.

O padrão de vento descrito em 925 hPa para os eventos I e II sugere estar associado a presença da ASPS. O evento II apresentou ventos fortes no sul do PS. No nível de 500 hPa o evento II mostrou sobre o Pacífico sul (129 ° W - 150 ° W) uma circulação com tendência anticiclônica durante o período de atuação com ventos fortes sobre o sul da AS. A leste

desta circulação há a presença de um cavado o qual está associado a movimentos descendentes sobre esta região. Os eventos I e III não mostraram características bem definidas que pudessem estar associados a algum sistema neste nível. Em altos níveis os campos médios apresentaram um padrão de vento típico para o nível de 200 hPa com ventos predominantemente de oeste sobre a AS e regiões adjacentes.

O campo anomalia de água precipitável para os três eventos analisados, mostrou que há uma predominância de anomalias negativas sobre o SEB durante o período de atuação destes eventos o que leva a crer que esta região estava desfavorável a ocorrência de precipitação devido ao pouco conteúdo de água precipitável na atmosfera.

6 ANÁLISE DOS CAMPOS MÉDIOS E EOF

Este Capítulo apresentará um estudo dos campos médios e das componentes principais ou EOF (Funções Ortogonais Empíricas). O estudo das EOF será utilizado com o propósito de tentar obter um composto das anomalias, bem como mostrar os modos dominantes destes campos sobre a AS em especial a região SEB. Foram analisados os campos médios (total) dos 26 eventos encontrados para três dias antes, durante e três dias posteriores para convergência do transporte de umidade ($u'Q', v'Q'$), transporte meridional de momentum ($u'v'$), transporte meridional de calor sensível ($v'T'$) e transporte zonal de calor sensível (u', T') para o nível de 925 hPa. Foram aplicadas também EOF sobre os 26 eventos encontrados para três dias antes, durante e três dias posteriores aos eventos para os campos anômalos de temperatura do ar e umidade relativa em 925 hPa, transporte meridional de momentum ($u'v'$), transporte meridional de calor sensível ($v'T''$), transporte zonal de calor sensível (u', T') para o nível de 925 hPa sobre o continente e total (continente e oceanos). As EOF foram utilizadas com o propósito de analisar qual modo (continente ou total) possui maior contribuição e ou dominância para a ocorrência dos EQS.

6.1. Análise dos campos médios

6.2. Campo médio total de convergência do transporte de umidade em 925 hPa.

O campo médio total de convergência do transporte de umidade para antes dos eventos (Figura 6.1a) mostra valores positivos de transporte de umidade sobre o Nordeste do Brasil e parte do centro sul da AS. Durante os EQS (Figura 6.1b) o maior incremento de transporte de umidade ocorre sobre o sul e o SEB, onde os valores chegam até 15 g/kg/dia enquanto que na parte centro norte do SEB e Atlântico Sul, há valores negativos o que leva a crer que esta região está com déficit de umidade. O padrão apresentado mostra-se condizente com o esperado, uma vez que durante os eventos há uma diminuição da umidade relativa para todos os EQS analisados. Após os eventos (Figura 6.1c) a região estudada volta a apresentar valores positivos.

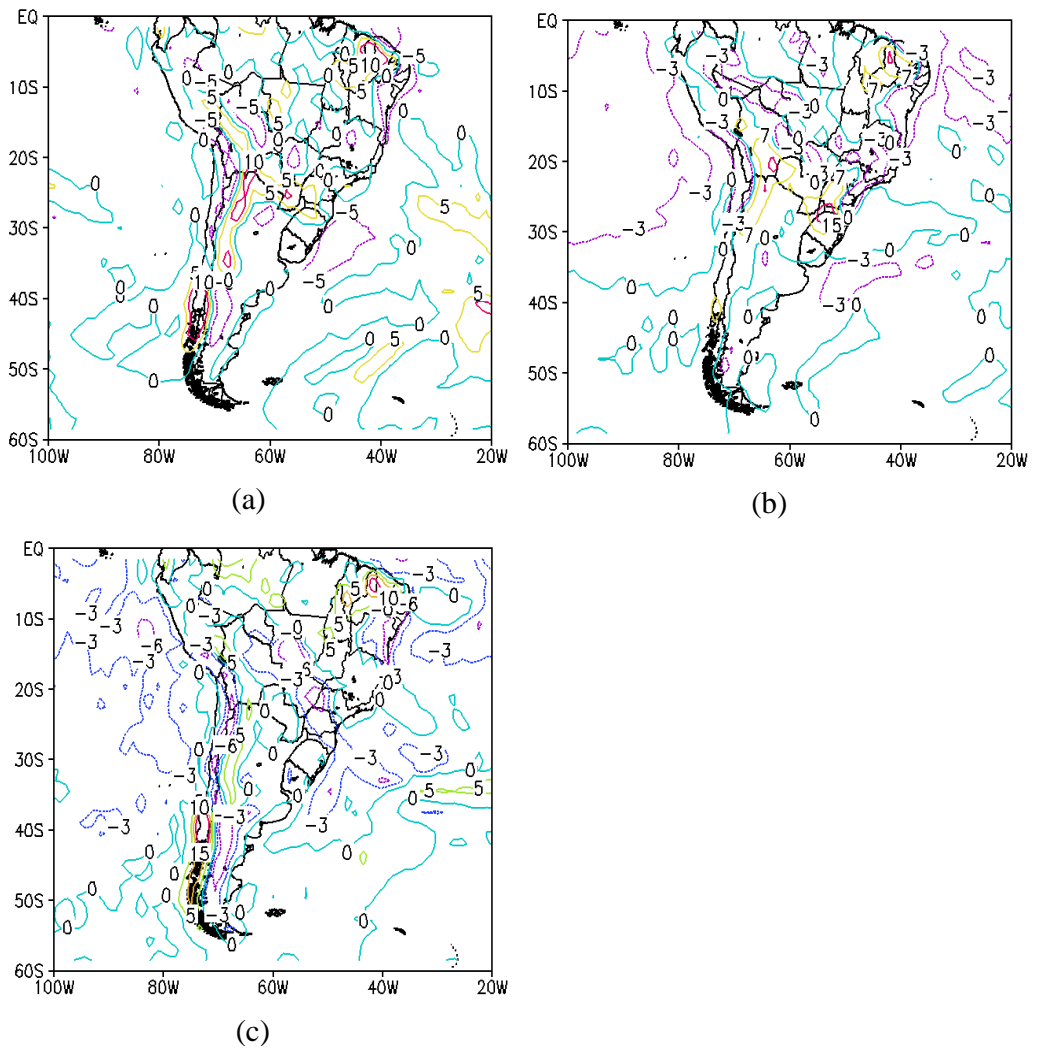


Figura 6.1 - Campo médio total de convergência do transporte de umidade (g/kg/dia) em 925 hPa. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois.

6.3. Campo médio total do transporte meridional de calor sensível em 925 hPa.

O campo médio total sobre o continente para antes (Figura 6.2a), mostra núcleos negativos deste transporte posicionados no sentido noroeste-sudeste da América do Sul e valores positivos sobre o SEB na parte centro-norte de Minas Gerais, enquanto que nas demais regiões do SEB não há contribuição deste transporte. Durante os eventos (Figura 6.2b) a América do Sul e os oceanos Atlântico e Pacífico sul são tomados por núcleos negativos deste transporte, o que sugere que o transporte meridional de calor sensível está sendo realizado no sentido do equador para o Polo Sul, levando a crer que há contribuição deste transporte da região equatorial para o SEB durante os eventos e mostra o caráter baroclínico da perturbação. Após a atuação (Figura 6.2c) observa-se que as regiões do Atlântico Sul e América do Sul mantem uma predominância de núcleos negativos, enquanto que a costa Chilena apresentou um núcleo positivo deste transporte.

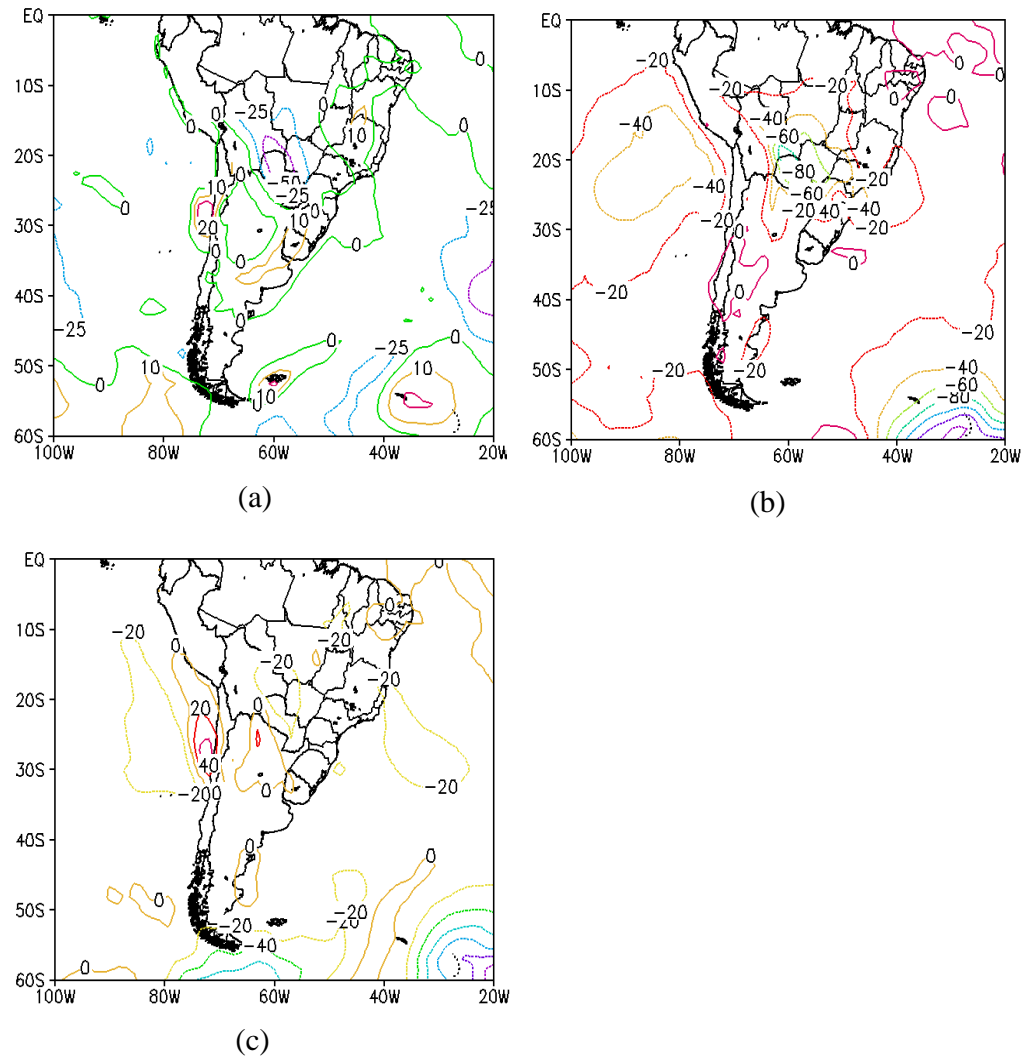


Figura 6.2 - Campo médio total do transporte meridional de calor sensível ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \text{ } ^\circ \text{K}$) em 925 hPa. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois.

6.4. Campo médio total para o transporte zonal de calor sensível em 925 hPa.

O campo médio sobre o continente para antes (Figura 6.3a), mostra núcleos positivos de transporte zonal de calor sensível sobre o centro oeste, sul da Amazônia, sudeste Brasileiro e oceanos Atlântico e Pacífico sul, indicando que o transporte zonal está sendo realizado no sentido de oeste para leste sobre estas regiões, enquanto que o centro norte da Argentina apresentou um padrão contrário. Durante o período de atuação (Figura 6.3b) surge um trem de núcleos positivos orientados no sentido noroeste sudeste da América do Sul e parte da costa do SEB sugerindo que durante a atuação dos eventos o transporte zonal de calor sensível foi de oeste. Após os eventos (Figura 6.3c) os valores deste transporte diminuem em praticamente toda região estudada, o que sugere que este transporte pode ser um dos responsáveis pelo aquecimento da região durante e após os eventos.

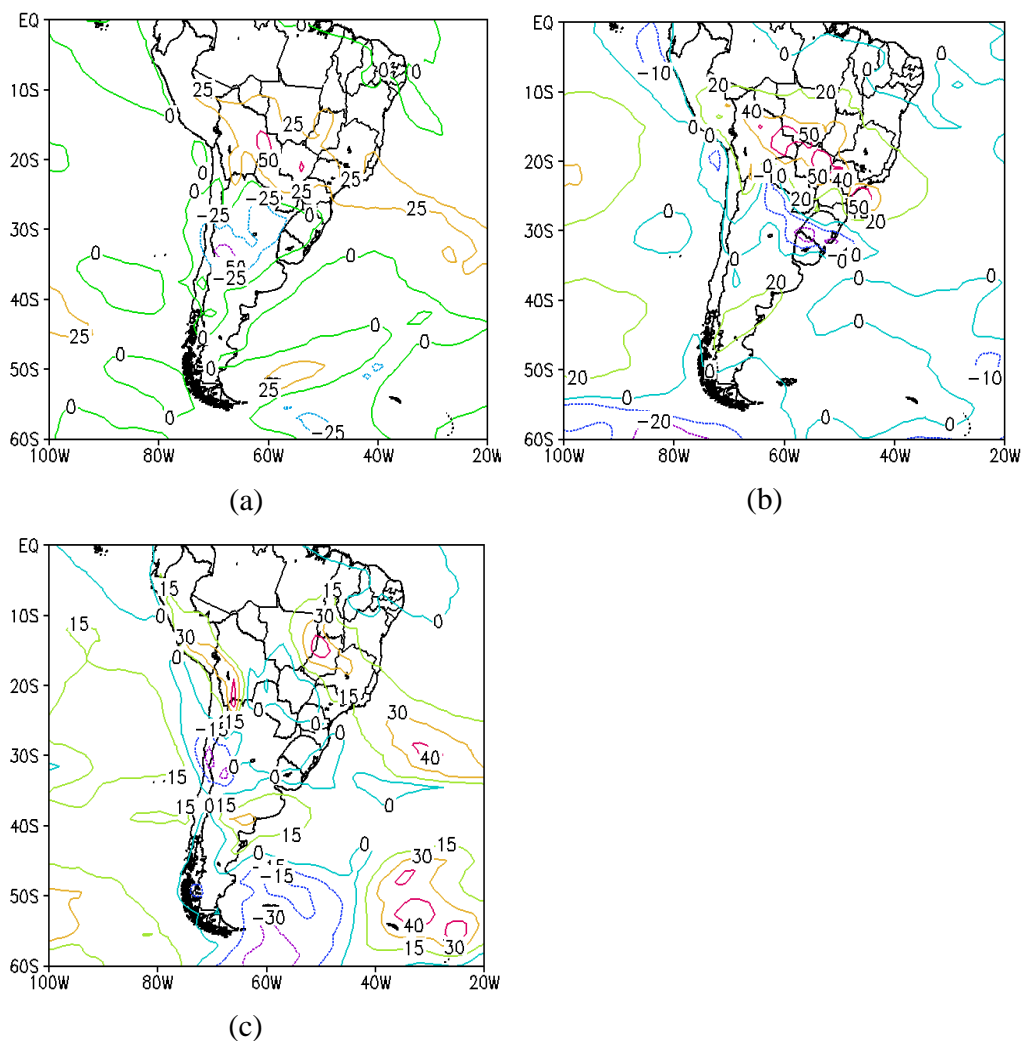


Figura 6.3- Campo médio total do transporte zonal de calor sensível ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot^{\circ}\text{K}$) em 925 hPa. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois.

6.5. Análise das EOF

6.6. EOF da anomalia de temperatura do ar para o continente e total.

A primeira EOF da anomalia de temperatura do ar para antes (Figura 6.5a) contribui para explicar 61,5% de variância e mostra um dipolo entre a parte centro-sul da AS e Nordeste do Brasil. A técnica de EOF sugere que regiões que apresentam sinais opostos são afetadas de maneira oposta pelos sistemas que determinam esta variabilidade.

Durante os eventos (Figura 6.5b) a variância explicada foi de 54,62% e nota-se um padrão bastante distinto da EOF para antes dos eventos (Figura 6.5a), onde temos agora uma abrangente área de anomalias positivas sobre a AS inclusive no SEB. Os valores mais elevados encontram-se sobre o centro-sul da América do Sul o que sugere que durante o período de atuação esta região possua uma maior contribuição para a ocorrência destes eventos. Após o período de atuação a variância explicada foi de 71,42% e a configuração apresentada agora é muito similar à primeira EOF para antes dos eventos.

O modo da EOF total para antes (Figura 6.6a) explica 33,26% da variância e mostram também um dipolo entre o centro-sul da América do Sul e nordeste e sudeste do Brasil. Durante os eventos (Figura 6.6b) a variância explicada foi 32,78% e mostra agora uma predominância de valores negativos sobre o centro-oeste, sudeste e sul do Brasil. Este padrão sugere que o Atlântico e o Pacífico possuem pouca ou nenhuma contribuição para a ocorrência destes eventos uma vez que durante o período de atuação era de se esperar que houvesse valores positivos sobre o SEB durante o período de atuação. A EOF após os eventos explicou 39,15% da variância e é observado novamente um dipolo entre o centro-sul da AS e nordeste e SEB.

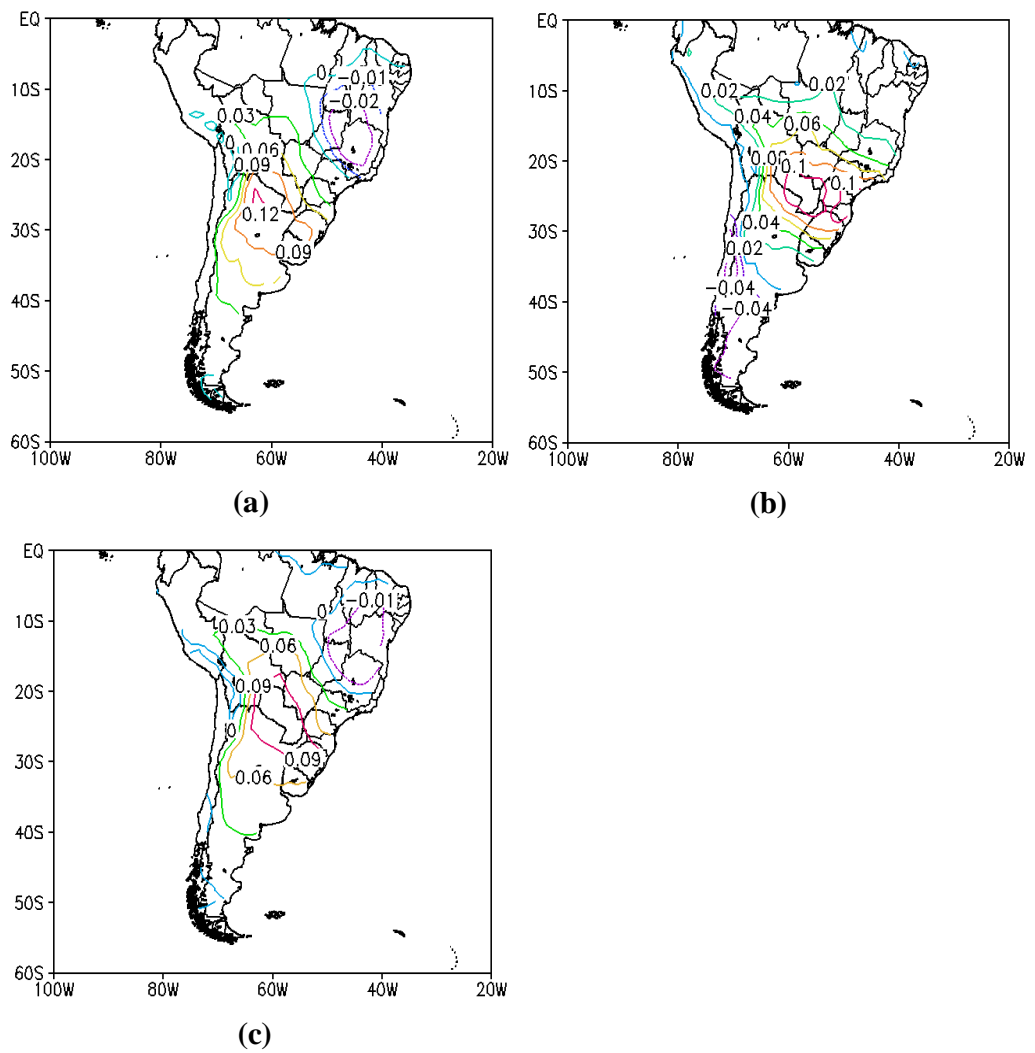


Figura 6.5- Primeira EOF da anomalia de temperatura do ar para o continente com variância explicada de 61,5%, 54,62% e 71,42% para (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente.

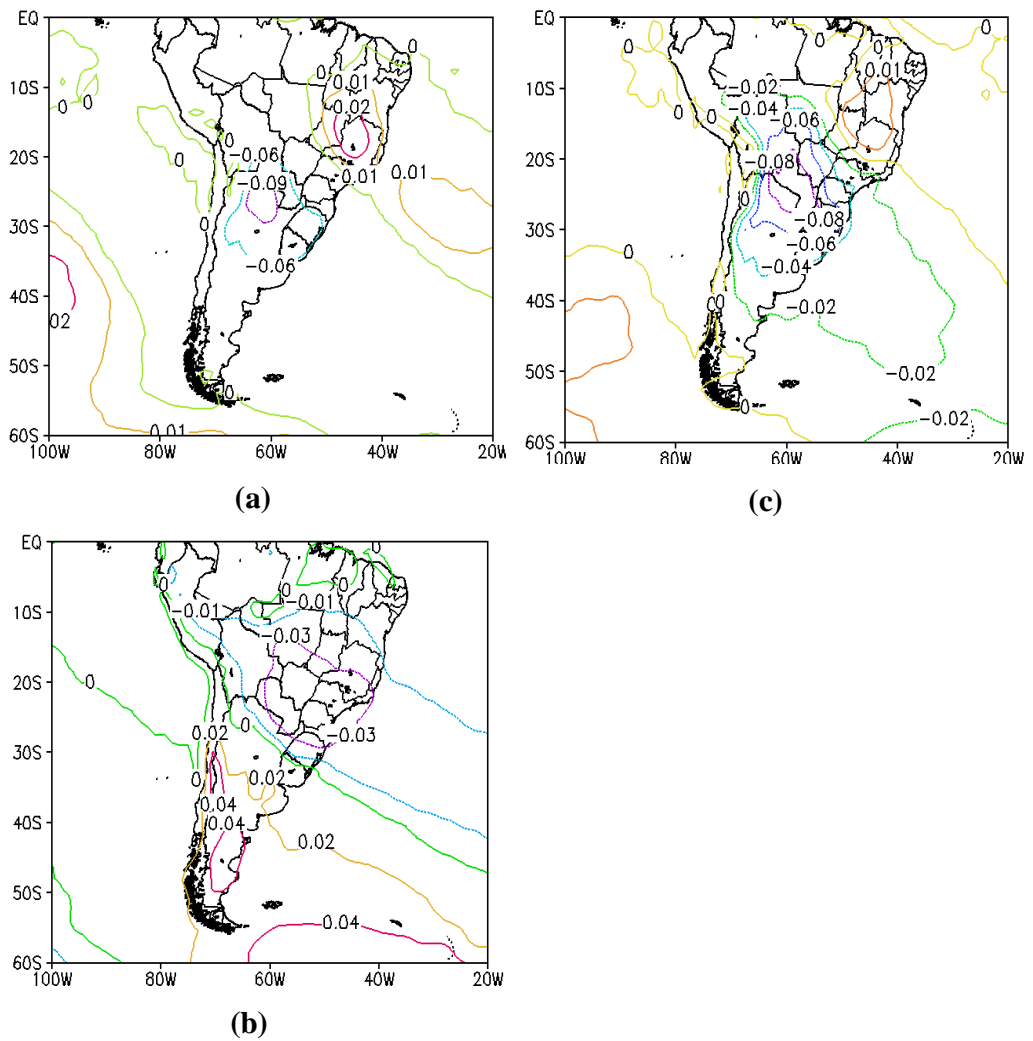


Figura 6.6 - Primeira EOF total da anomalia de temperatura do ar com variância explicada de 33,26%, 32,78% e 39,15% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente.

6.7. EOF da anomalia de umidade relativa para o continente e total.

A primeira EOF da anomalia de umidade relativa para antes (Figura 6.7a) explica 26,96% da variância e mostra que o SEB apresentou valores anômalos positivos sobre o sul do Brasil e negativos sobre o norte do nordeste Brasileiro. O SEB está anomalmente negativo, enquanto que a parte centro-sul da AS apresentou valores positivos. Durante os eventos (Figura 6.7b) a variância explicada foi mais representativa com 34,57% da variância e observasse que há uma predominância de anomalias negativas sobre o SEB o que é condizente com o esperado uma vez que durante o período de atuação esta região apresentou valores anomalmente negativos de umidade relativa para os campos de anomalia diária e mensal. Após os eventos (Figura 6.7c) houve uma predominância de anomalias negativas em praticamente toda a América do Sul.

O modo dominante da EOF total da anomalia de umidade relativa para antes (Figura 6.8a) mostrou uma predominância de anomalias negativas sobre continente Sul Americano, destacando-se os maiores valores sobre o sudeste desta região e mostra um padrão bem distinto do modo dominante para o continente (Figura 6.7a). Sobre o Atlântico Sul encontra-se o núcleo mais anômalo centrado em 43° S e 56° W. O modo da EOF durante os eventos (Figura 6.8b) mostra uma abrangente área de anomalias negativas que vai do litoral do SEB ate o Centro Oeste Brasileiro. Na comparação com a EOF para o continente (Figura 6.7b) observa-se que há uma predominância de valores anômalos negativos sobre a região estudada, o que sugere que em ambas os modos (continente e total) possuem contribuição para a ocorrência destes eventos sobre o SEB. O modo total após os eventos (Figura 6.8c) apresentou uma expressiva área com anomalias positivas em praticamente todo o cone sul da América do Sul, o que diverge do modo da EOF para o continente (Figura 6.7c) que apresentou um padrão contrário sobre esta região.

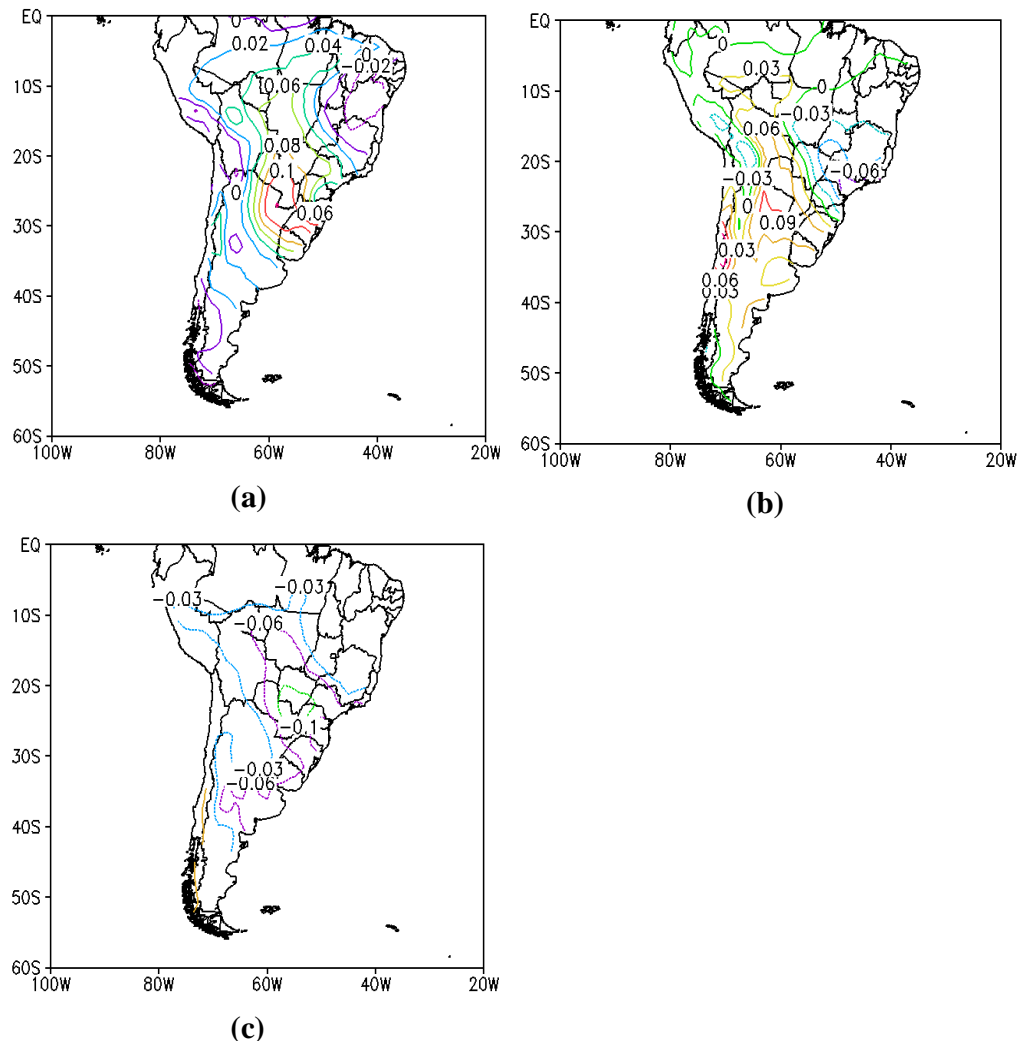


Figura 6.7 - Primeira EOF da anomalia de umidade relativa para o continente com variância explicada de 26,96%, 34,57% e 25,97% para (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente.

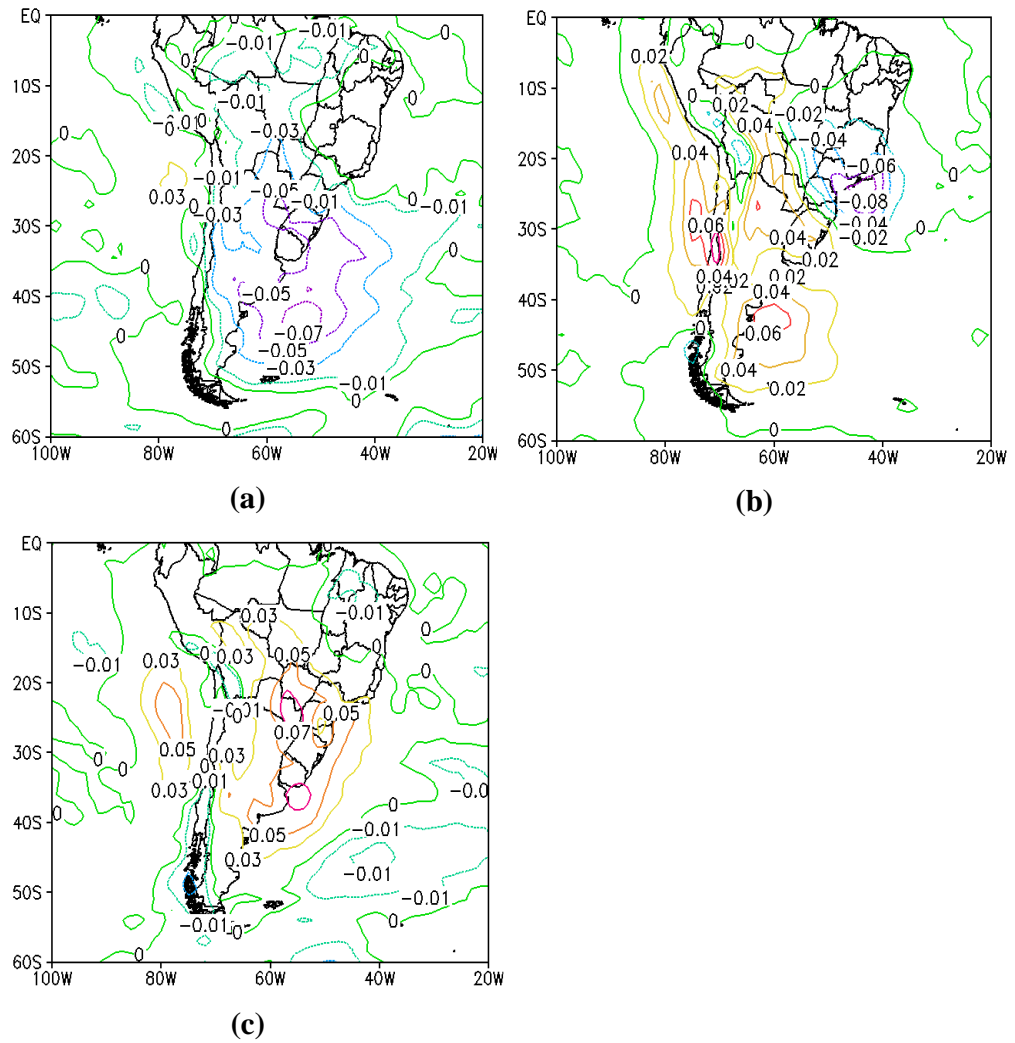


Figura 6.8 - Primeira EOF total da anomalia de umidade relativa com variância explicada de 15,77%, 26,61% e 16,57% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente.

6.8. EOF do transporte meridional de momentum em 925 hPa para o continente e total.

A primeira EOF para o transporte meridional de momentum para antes (Figura 6.9a) explicada com 26,81% da variância apresentou um dipolo com valores negativos orientados no sentido noroeste/sudeste da América do Sul e outro centro com valores positivo na parte sul da América do Sul. O padrão do centro anômalo negativo sugere estar associado ao JBN devido ao posicionamento que estes núcleos se encontram. A EOF durante os eventos (Figura 6.9b) apresentou variância explicada de 39,73% mostra uma expressiva área com valores negativos em praticamente toda a América do Sul. Como o transporte meridional de momentum é negativo sobre a região SEB para antes e durante os EQS e este transporte está associado à conversão de energia cinética do estado básico em energia cinética da perturbação tudo leva a crer que o JBN não influenciou antes e nem durante os eventos. O modo dominante posterior aos eventos (Figura 6.9c) mostrou que houve uma incursão de valores positivos deste transporte sobre grande parte da América do Sul.

A EOF total do transporte meridional de momentum explicada por 23,07%, 16,84% e 18,83% da variância para antes, durante e depois (Figuras 6.10a, 6.10b e 6.10c respectivamente), mostraram que não houve diferenças significativas sobre o continente para os valores do transporte meridional de momentum na comparação com a EOF aplicada para o continente.

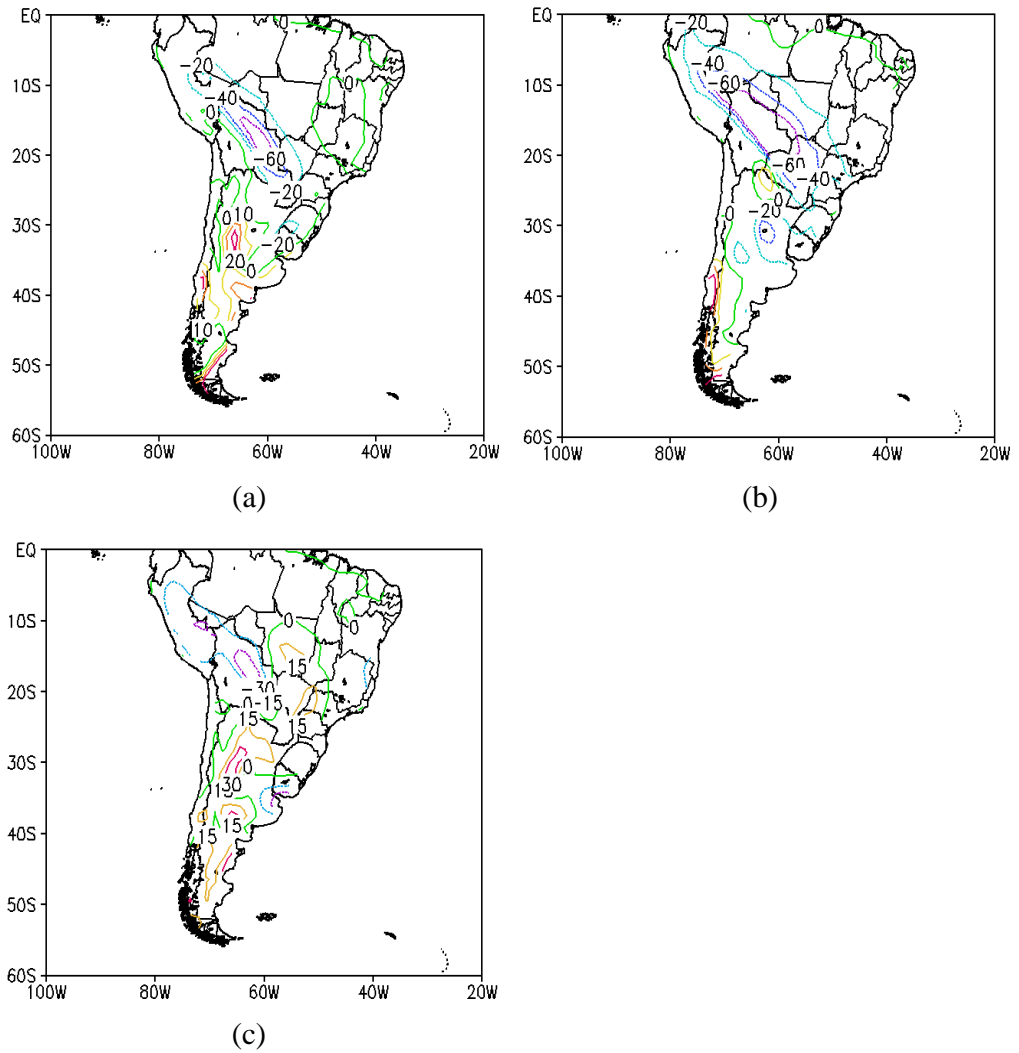


Figura 6.9 - Primeira EOF do transporte meridional de momentum para o continente com variância explicada de 26,81%, 39,73% e 23,81% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente.

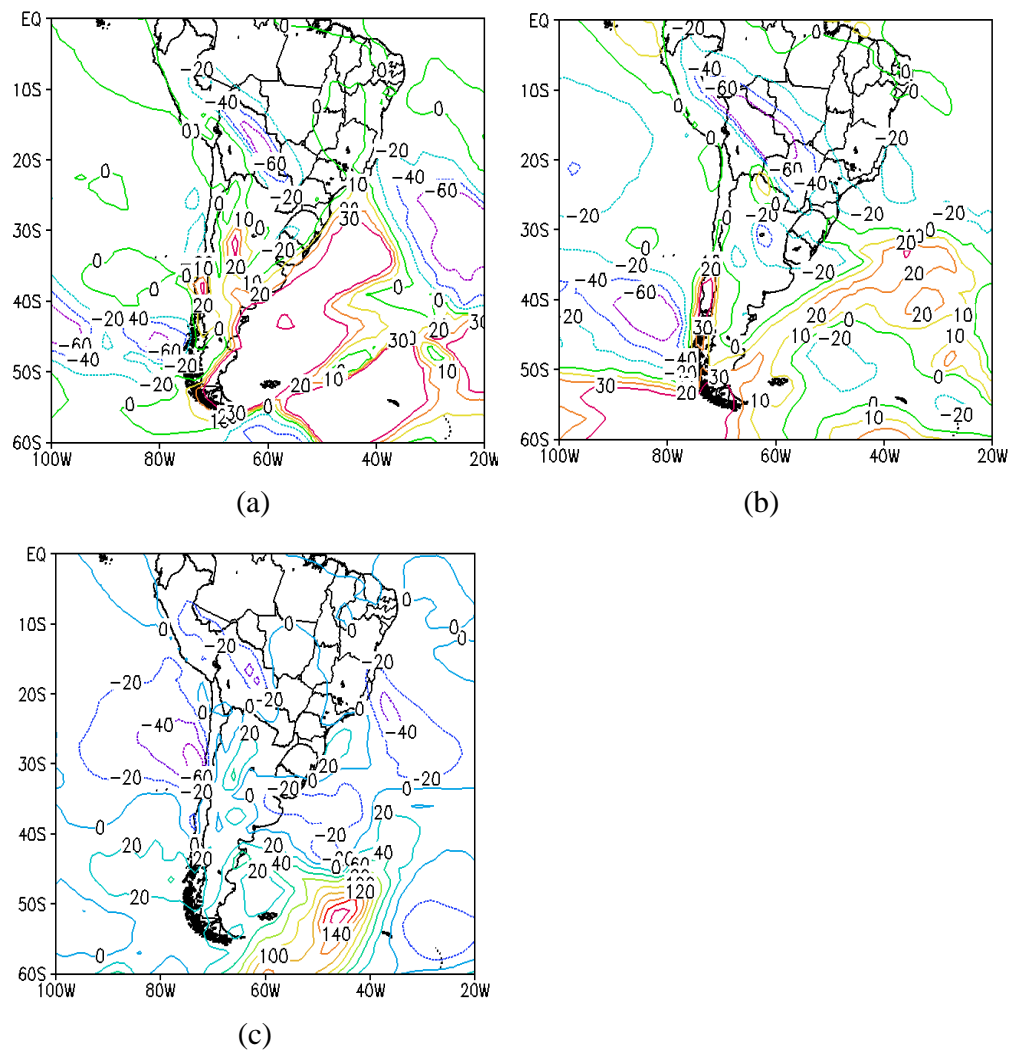


Figura 6.10 - Primeira EOF total do transporte meridional de momento com variância explicada de 23,07%, 16,84% e 18,83% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente.

6.9. EOF do transporte zona de calor sensível para o continente e total.

A primeira EOF do transporte zonal de calor sensível sobre o continente explicada com 33,08%, 37,50% da variância para antes (Figuras 6.11a) e durante (Figura 6.11b) respectivamente, mostra que há uma dominância de núcleos negativos deste transporte em praticamente toda a América do Sul. Este padrão sugere que este transporte está sendo realizado no sentido leste pra oeste. O modo da EOF após os eventos (Figura 6.11c) mostra que a região central da América do Sul é tomada por núcleos positivos o que leva a crer que esta região está recebendo calor sensível no sentido oeste para leste, enquanto que o SEB e sul da América do Sul possuem este transporte no sentido oposto, sugerindo uma dissipação da baroclinia das perturbações.

O modo da EOF total para antes (Figura 6.12a) explicada com 22,26% de variância mostrou que não houve contribuição deste transporte sobre o SEB. A EOF durante os eventos (Figura 6.12b) explicada com 18,38% da variância, mostra que há uma dominância de valores negativos deste transporte em toda América do Sul e oceanos Atlântico e Pacífico Sul, indicando que este transporte está sendo realizado no sentido leste para oeste. Este modo apresentou diferenças significativas na comparação com a EOF sobre o continente (Figura 6.11b). O modo da EOF posterior aos eventos (Figura 6.12c) apresentou uma grande área com valores positivos deste transporte sobre o sul da América do Sul e costa da Argentina o que leva a crer que o transporte está sendo realizado de oeste para leste enquanto que o SEB não apresentou contribuição deste transporte.

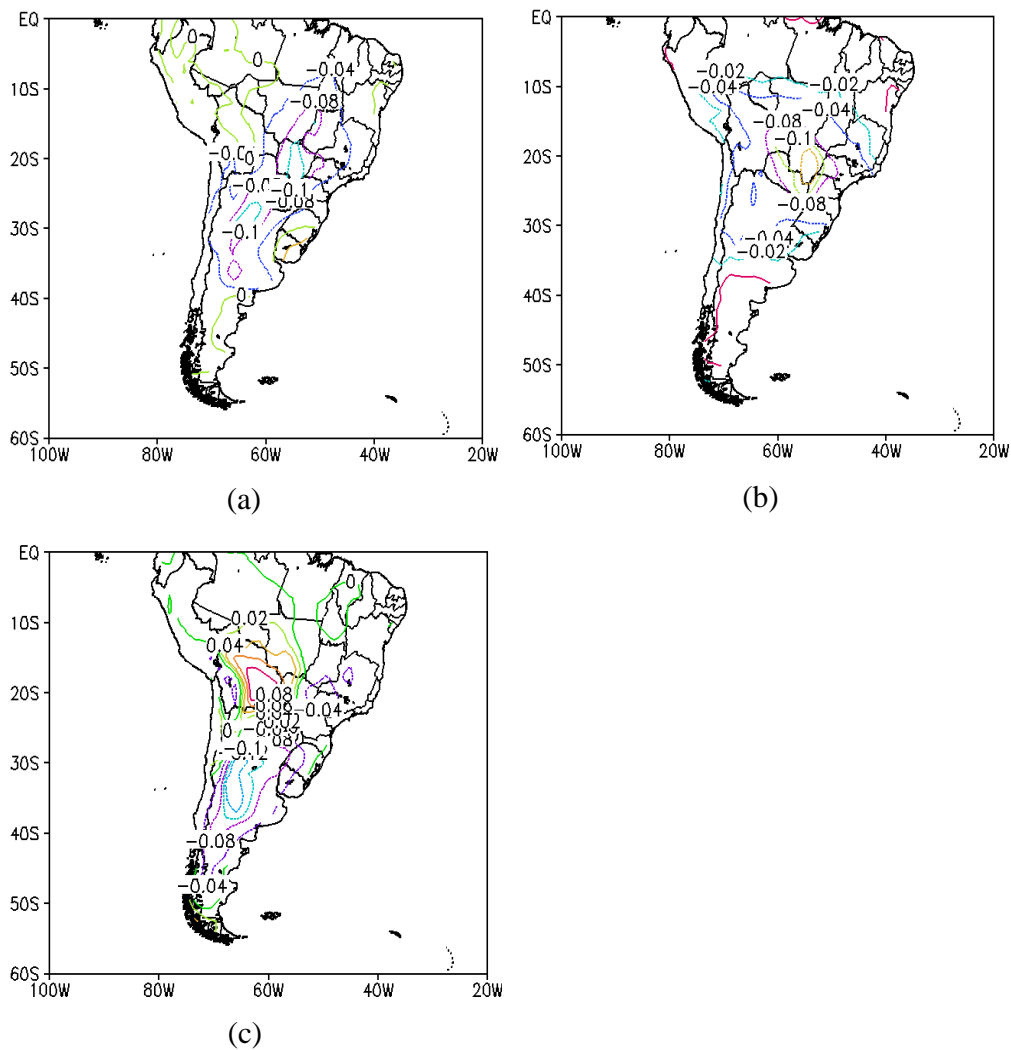


Figura 6.11 - Primeira EOF do transporte zonal de calor sensível para o continente com variância explicada de 33,08%, 37,50% e 29,21% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente.

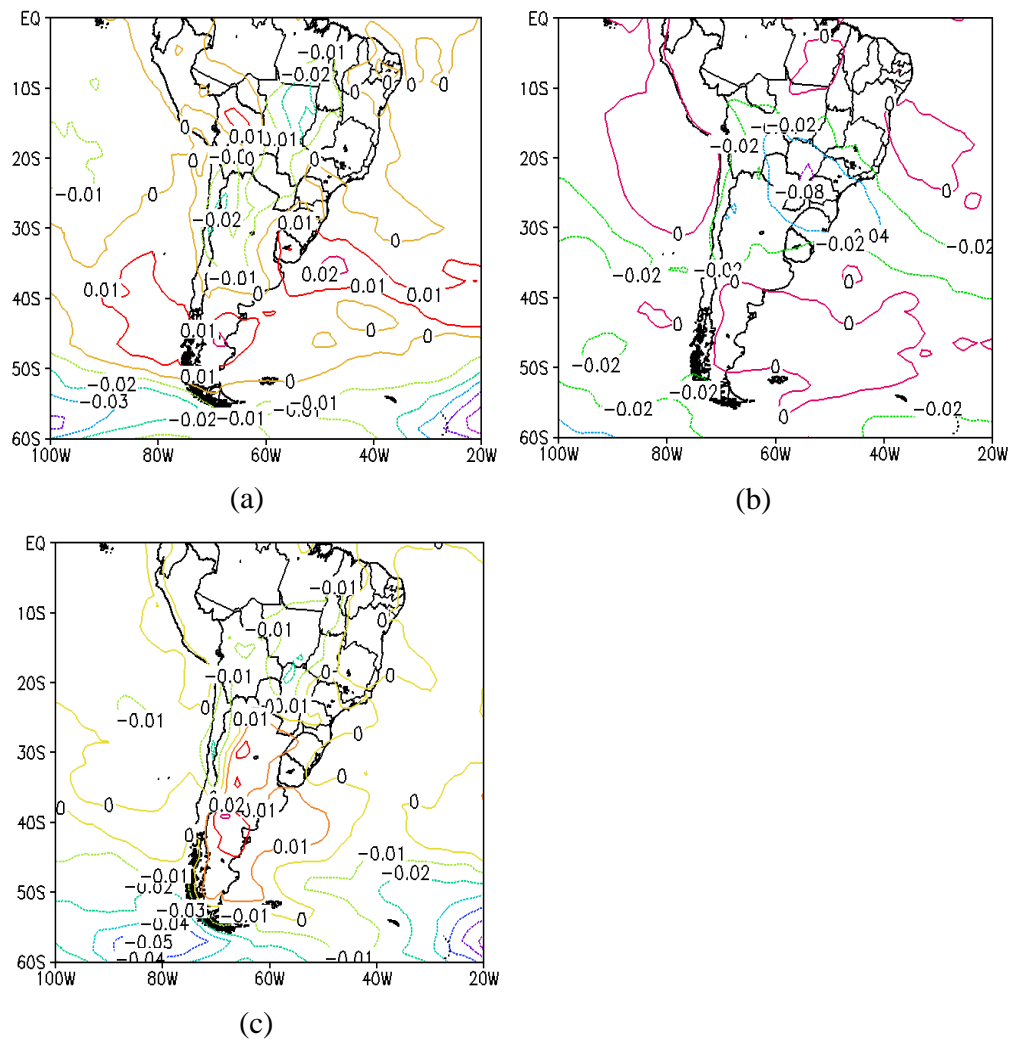


Figura 6.12- Primeira EOF total do transporte zona de calor sensível com variância explicada de 22,26%, 18,38% e 22,97% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias depois respectivamente.

6.10. EOF do transporte meridional de calor sensível para o continente e total.

O modo dominante da EOF para o transporte meridional de calor sensível sobre o continente para antes (Figura 6.13a) com variância explicada de 66,47%, mostra uma abrangente área com núcleos positivos deste transporte sobre as regiões centro-sul da América do Sul e SEB. O modo apresentado sugere que o transporte está sendo realizado no sentido Polo Sul para o equador. O modo dominante da EOF durante (Figura 6.13b) explicada com 43,41% de variância apresentou um padrão completamente contrário ao modo da EOF para antes (Figura 6.13a), onde temos agora uma dominância de núcleos negativos em praticamente toda a América do Sul, indicando que o transporte está sendo realizado no sentido equador para o Polo Sul. Este padrão sugere que a região equatorial contribui com o incremento deste transporte para o SEB durante os eventos e corrobora com os resultados vistos no campo médio do transporte meridional de calor sensível para o continente (Figura 6.2b). O modo dominante após os eventos (Figura 6.13c) apresentou um padrão similar ao visto na EOF para antes (Figura 6.13a), porém temos agora transporte meridional de calor sensível no sentido Polo sul para o equador sobre a região SEB.

O modo da EOF total (Figura 6.14a) para antes, mostra que a região centro oeste, sul do sudeste, sul do Brasil e norte da Argentina continuam com uma predominância de núcleos positivos, enquanto que sobre o Atlântico Sul e Pacífico Sul os valores são aproximadamente zero, isso sugere que os oceanos não possuem contribuições significativas do transporte analisado. O modo dominante durante (Figura 6.14b), apresentou um padrão bem distinto ao modo da EOF para o continente (Figura 6.13b) e notasse agora a presença de núcleos positivos em praticamente toda América do Sul, parte do Atlântico e Pacífico Sul o que leva a crer que o Atlântico Sul possui contribuição para a ocorrência destes eventos. Os valores descritos indicam que o transporte meridional de calor sensível é predominantemente do Polo Sul para o equador. O modo dominante após os eventos (Figura 6.14c) apresentou valores próximos a zero o que sugere que não houve influencia deste transporte após a ocorrência dos eventos.

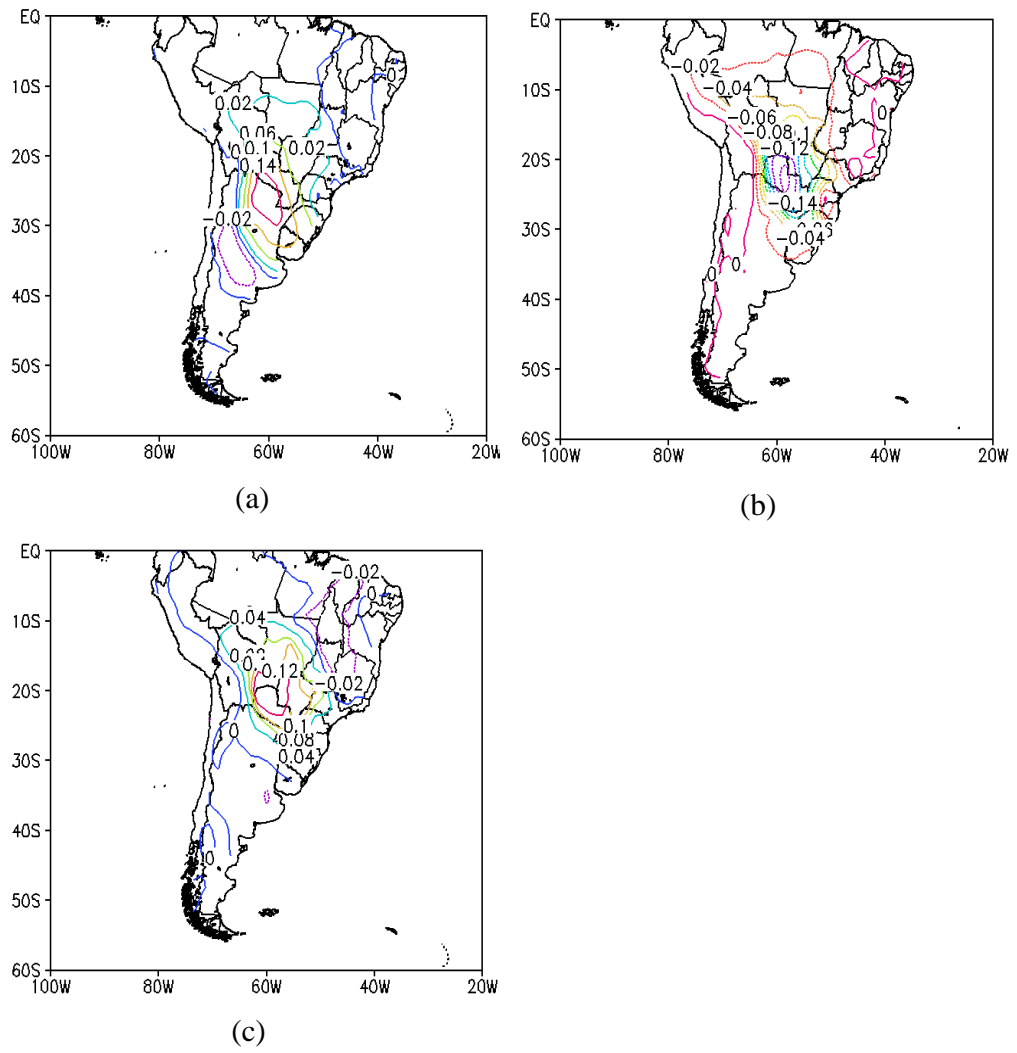


Figura 6.13 - Primeira EOF do transporte meridional de calor sensível para o continente com variância explicada de 66,47%, 43,41% e 27,43% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias respectivamente.

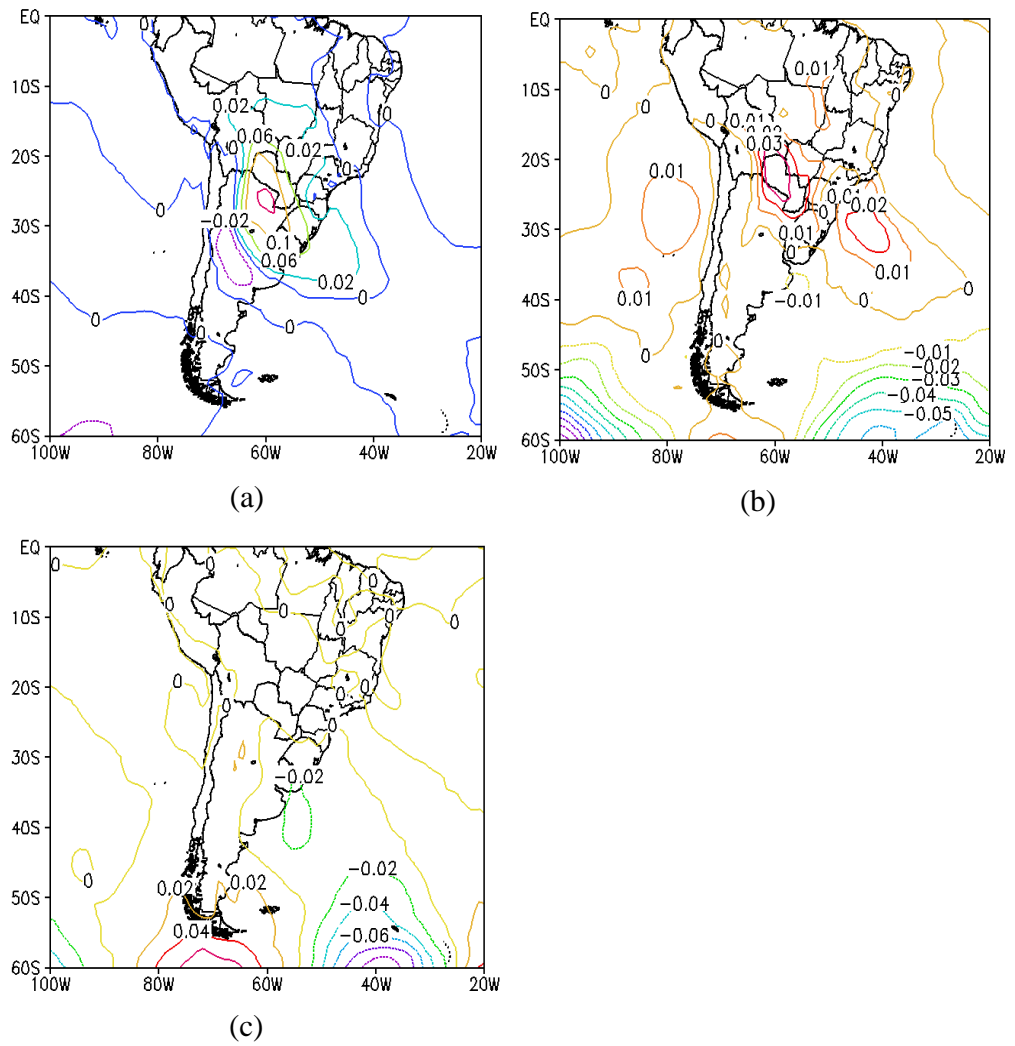


Figura 6.14 - Primeira EOF total do transporte meridional de calor sensível com variância explicada de 23,80%, 24,28% e 22,85% para. (a) três dias antes, (b) durante e (c) três dias respectivamente.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1. Conclusões

Inicialmente, foram identificados os EQS ocorridos entre os invernos de 1989 e 2008 sobre o SEB. O critério para a seleção foi descrito no Capítulo 3. A área escolhida para analisar a ocorrência de eventos foi o SEB a qual está situada entre (40°W e 53°W) e (13°S e 26°S) conforme descrito na (Figura 3.1). Esta região corresponde ao sudeste, parte do Centro Oeste e Sul do Brasil. Apesar de a região escolhida ser o SEB, estudou-se as condições sinóticas sobre o HS e América do Sul, em especial a região SEB.

A análise mensal dos EQS mostrou que 12 meses apresentaram anomalias entre $0,5^{\circ}\text{C}$ e $0,9^{\circ}\text{C}$ e 13 meses apresentaram anomalias igual ou maior que 1°C . Durante o período analisado observou-se que junho, julho, agosto e setembro apresentaram 4, 9, 6 e 6 meses com anomalias térmicas mensais respectivamente. Os meses mais anômalos foram julho e setembro com valores de até $1,8^{\circ}\text{C}$.

Foram encontrados 26 EQS durante os 20 anos estudados. Durante o período analisado observou-se que a anomalia de temperatura do ar, anomalia de umidade relativa e anomalia de precipitação foram em média 3°C , -7% e -1 mm respectivamente. A frequência destes eventos foi aproximadamente 1(um) caso por ano com duração média de 7 dias durante o inverno austral.

A variação mensal destes eventos mostrou que junho, correspondente ao primeiro mês da estação de inverno, registrou quatro casos, julho registrou nove casos, agosto seis casos e o último mês registrou seis casos. O mês preferencial para a ocorrência de EQS sobre a região analisada foi julho, o que diverge dos resultados encontrados por Prakki et al (2007), que encontrou o mês de agosto como preferencial.

O índice de severidade proposto mostrou que dos 26 eventos analisados, 3 foram classificados como fraco e ocorreram entre junho e julho, 20 foram moderados e ocorreram em todos os meses e os 3 restantes foram classificados como intensos e ocorreram nos meses de junho e setembro. Baseado neste índice estabeleceu-se o ranking destes eventos e a partir daí foram classificados para estudo de caso os três mais intensos.

Os anos de 1995, 1998, 2002 e 2007 foram classificados como os anos com os maiores números de ocorrências de EQS com 3 eventos por ano. Isso mostra que estes eventos não apresentam uma variabilidade interanual bem definida.

Entre os anos de 2001 a 2008 verificou-se que os eventos ocorreram em todos os anos com média anual de 2 casos por ano.

Os anos de 1989 a 1992, 1996, 1999 e 2000 não apresentaram casos de EQS. É possível que estes anos possam ter apresentado eventos quentes e secos, porém eles não se enquadraram na metodologia utilizada.

Dos 26 EQS analisados, observou-se que 14 casos ocorreram durante a fase quente do ENOS (El Niño), 10 casos estiveram associados à fase fria (La Niña) e 2 casos ocorreram em período neutro. Os três eventos mais intensos podem estar associados a fase quente do ENOS, o que sugere que os eventos mais intensos podem estar associados ao El Niño, o que corrobora com os resultados encontrados por Prakki et al (2007). O caso 2 ocorreu durante o ano de 1997, o que corresponde a um dos anos mais intensos do El Niño. Apesar de os eventos possuírem preferência pela fase quente do ENOS, não é possível afirmar que o El Niño influencia na ocorrência dos EQS.

Buscou-se relacionar os três eventos aos episódios de bloqueios, porém não foi possível confrontá-los uma vez que os resultados de Damião (2007) não analisaram a primavera, período que ocorreram os eventos I e II. O padrão sinótico sugere que os eventos II e III

estiveram associados a bloqueios do tipo ômega invertido e crista amplificada, respectivamente.

O teste F foi aplicado sobre as médias anômalas de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação sobre todos os 26 EQS ao nível de significância de 95%.

O valor de 'F' foi de 4.6, 16.6 e 4.5 para a temperatura do ar, umidade relativa e precipitação respectivamente, enquanto que 'P' foi muito menor que 0,05 o que indica que não há diferenças significativas entre as médias anômalas das variáveis analisadas.

Após a análise estatística foram analisados os três EQS mais intensos a fim de se obter uma compreensão da estrutura sinótica que esteve associada à formação e à dissipação destes eventos.

O primeiro evento ocorreu entre 20 e 30 de setembro de 2004, o segundo de 2 a 10 de setembro de 1997 e o terceiro de 4 a 14 de junho de 2002 e apresentaram o seguinte padrão sinótico:

O campo médio de pressão ao nível médio do mar para o primeiro e o terceiro EQS, mostrou que a ASPS e a ASAS estiveram bem configuradas sobre o Pacífico e Atlântico sul, já o terceiro evento mostrou que estas altas estiveram com núcleo menos intenso em comparação com os dois eventos descritos acima.

O campo de anomalia de pressão ao nível médio do mar para antes mostrou que a ASPS esteve menos intensa que o normal para os eventos I e II, enquanto que o evento III, não configurou a presença deste sistema. Durante o evento I observou-se que a ASPS esteve mais intensa que o normal. O evento II mostrou dois centros anômalos sobre o Pacífico sul, sendo um positivo e outro negativo com padrão de dipolo. O evento III apresentou uma

faixa anômala estirada zonalmente entre a Antártica e o Pacífico Sudeste. Após os três eventos os centros anômalos se desintensificaram.

O campo médio de altura geopotencial em 500 hPa para antes indicou a presença de um cavado bem pronunciado sobre ao sul da América do Sul para o evento I e pouco pronunciado para o evento III. Durante e após o período de atuação dos três EQS, não foi observado um padrão bem definido de sistema sinótico que pudesse justificar a manutenção e dissipação.

O campo de anomalia de altura geopotencial em 500 hPa, para antes mostrou um centro anômalo positivo no Pacífico sudeste para o evento I e II, enquanto que o evento III mostrou um padrão contrário com um centro anômalo negativo sobre esta região. Durante o período de atuação o evento II mostrou dois centros anômalos negativos e um positivo sobre o Pacífico Sul e Parte do Índico. O padrão apresentado sugere ser um bloqueio do tipo dipolo o qual está associado a inibição de frentes, centros de pressão e outros sistemas associados a instabilidade termodinâmica chegassem ao sudeste do Brasil, favorecendo a ocorrência dos EQS. O evento I não apresentou padrão bem definido que pudesse justificar a ocorrência deste evento, já o evento III apresentou um núcleo anômalo bastante expressivo posicionado zonalmente sobre o Pacífico sudeste e sugeriu ser um bloqueio do tipo crista amplificada a qual está associado a inibição de sistemas transientes.

Após o período de atuação do evento I apresentou um padrão do tipo dipolo com um centro anômalo positivo e outro negativo sobre o Atlântico Sul, enquanto que os eventos II e III apresentaram uma desintensificação dos centros anômalos positivos e negativos.

O campo médio de vento em 925 hPa mostrou que os três EQS apresentaram a ASPS bem configurada antes e durante o período de atuação.

Em níveis médios o campo médio de vento para antes, durante e depois não foi tão significativo para os eventos I e III, porém o evento II mostrou que durante o período de

atuação, os ventos estiveram paralelos a alta de bloqueio descrita no campo de anomalia de Altura geopotencial em 500 hPa.

Em altos níveis, os campos médios mostraram a presença de ventos bastante intensos acima de 60 m.s^{-1} sobre o sul da AS para antes e durante os eventos II e III, o que leva a crer que estes ventos estão associados à presença do jato subtropical, o qual durante a estação de inverno está mais intenso devido ao transporte de momentum vindo do equador para as latitudes médias no Hemisfério Sul. Este transporte intensifica sistemas como a ASPS que também fica mais intensa durante esta estação e tende a se comportar como bloqueio na região do Atlântico Sul impedindo a progressão de sistemas transientes. A análise para depois dos três eventos mostrou ventos menos intensos.

O campo médio de água precipitável para antes e durante mostrou que em todos os eventos, a quantidade de água precipitável foi baixa sobre o sudeste do Brasil em comparação com a região Amazônica que é uma região que possui altos valores de água precipitável próximo a superfície terrestre (RAO et al, 1996).

O campo médio de água precipitável durante os três EQS analisados mostrou que esta região estava anormalmente negativa indicando que estava desfavorável a ocorrência de precipitação.

A análise do campo médio total de convergência do transporte de umidade sobre o continente em 925 hPa, mostrou que antes e durante a atuação dos EQS houve pouco ou nenhum incremento deste transporte sobre o SEB, o que é condizente com o esperado, uma vez que durante os eventos há uma diminuição na quantidade de umidade relativa sobre esta região. Após os três eventos, a região estudada volta a apresentar valores positivos.

O campo médio total de transporte meridional de calor sensível sobre o continente em 925 hPa mostrou valores negativos deste transporte sobre a região centro oeste, sul, e sul do sudeste do Brasil para antes e durante e leva a crer que este transporte foi realizado no

sentido equador para o Polo Sul indicando que houve contribuição deste transporte da região tropical para o sudeste do Brasil durante os eventos e mostra o caráter baroclínico da perturbação.

O transporte zonal de calor sensível sobre o continente em 925 hPa mostrou diversos núcleos positivos deste transporte orientado no sentido noroeste-sudeste do Brasil para antes e durante o período de atuação dos EQS indicando transporte de oeste para leste.

A primeira EOF da anomalia de temperatura do ar para antes contribui para explicar 61,5% de variância e mostrou um dipolo entre a parte centro-sul da América do Sul e nordeste do Brasil sugerindo que estas regiões foram afetadas de maneira oposta pelos sistemas que determinam esta variabilidade. Durante os eventos (figura 6.5b) a variância explica 54,62% e mostra uma predominante área com anomalias positivas em grande parte do centro sul da América do Sul inclusive sobre o SEB. O padrão apresentado é condizente com o esperado uma vez que durante o período de atuação destes eventos a região estudada apresentou anomalias positivas de temperatura do ar. Após o período de atuação a variância explicada foi de 71,42% e a configuração apresentada foi similar à primeira EOF para antes dos eventos.

A EOF total da anomalia de temperatura do ar para antes e durante, mostrou valores negativos desta variável sobre o sudeste do Brasil o que sugere que o Atlântico Sul não possui contribuição para a ocorrência dos EQS.

A primeira EOF da anomalia de umidade relativa para antes e durante dos eventos mostraram uma dominância de anomalias negativas sobre o SEB. O modo apresentado é condizente com o esperado uma vez que durante o período de atuação há uma predominância de anomalias negativas de umidade relativa sobre o SEB. O modo da EOF posterior aos eventos mostrou uma predominância de anomalias negativas em praticamente toda a América do Sul e positiva no Sul do Brasil.

A primeira EOF para o transporte meridional de momentum para antes apresentou um dipolo com valores negativos orientados no sentido noroeste/sudeste da América do Sul e outro centro com valores positivo na parte sul da América do Sul. O padrão do centro anômalo negativo sugere estar associado ao JBN devido ao posicionamento que estes núcleos se encontram. O modo da EOF durante os eventos mostrou uma expressiva área com valores negativos em praticamente toda a América do Sul. Como o transporte meridional de momentum foi negativo sobre a região SEB para antes e durante os EQS tudo leva a crer que o JBN não influenciou antes e nem durante os eventos. O modo dominante posterior aos eventos mostrou que houve uma incursão de valores positivos deste transporte sobre grande parte da América do Sul.

A EOF total do transporte meridional de momentum para antes, durante e depois dos EQS mostrou que não houve diferenças significativas sobre o continente para os valores do transporte meridional de momentum na comparação com a EOF aplicada sobre o continente.

A primeira EOF do transporte zonal de calor sensível mostrou que o transporte foi no sentido leste para oeste em grande parte da América do Sul para antes e durante os eventos. O modo da EOF após os eventos (figura 6.11c) mostra que a região central da América do Sul é tomada por núcleos positivos o que leva a crer que esta região está recebendo transporte zonal de calor sensível no sentido oeste para leste, enquanto que o SEB e sul da América do Sul possuem este transporte no sentido oposto, sugerindo uma dissipação da baroclinia das perturbações.

O modo da EOF total do transporte zonal de calor sensível para antes mostrou que não houve contribuição deste transporte sobre o SEB. A EOF durante os eventos apresentou uma dominância de valores negativos deste transporte em toda América do Sul e oceanos Atlântico e Pacífico Sul, indicando que este transporte está sendo realizado no sentido leste para oeste. O modo da EOF posterior aos eventos indica transporte zonal de calor sensível de leste para oeste sobre o SEB.

O modo dominante da EOF para o transporte meridional de calor sensível sobre o continente para antes sugere que o transporte foi realizado no sentido Polo Sul para o equador, enquanto que modo dominante da EOF durante apresentou um padrão completamente contrário indicando que o transporte foi sendo realizado no sentido equador para o Polo Sul. Este padrão apresentado sugere que a região equatorial contribui com o incremento deste transporte para o SEB durante os eventos.

O modo dominante após os eventos apresentou um padrão similar ao visto na EOF para antes (figura 6.13a), com transporte meridional de calor sensível no sentido Polo sul para o equador sobre o SEB.

O modo da EOF total do transporte meridional de calor sensível para antes, mostrou que o continente não apresentou mudanças significativas entre os valores deste transporte na comparação com a EOF aplicada sobre o continente, porém o Atlântico Sul e Pacífico Sul apresentaram valores próximos de zero o que sugere que os oceanos não possuem contribuições significativas do transporte analisado. O modo dominante durante os eventos apresentou núcleos positivos em praticamente toda América do Sul, parte do Atlântico e Pacífico Sul o que leva a crer que o Atlântico Sul possui contribuição para a ocorrência destes eventos. Os valores descritos indicam que o transporte meridional de calor sensível é predominantemente do Polo Sul para o equador, enquanto que o modo da EOF para depois apresentou valores próximos a zero o que sugere que não houve influencia deste transporte após a ocorrência dos eventos.

7.2. Sugestões para estudos futuros

Os resultados apresentados contribuíram para o entendimento da estrutura básica de formação e desintensificação dos EQS sobre o Sudeste do Brasil. Os resultados abordados mostraram que estes eventos possuem características sinóticas e estatísticas distintas das encontradas por Prakki et al (2007). Espera-se que este estudo possa contribuir com a

meteorologia Sinótica do HS e América do Sul. É importante que haja continuação de novos estudos sobre os EQS, uma vez que estes eventos ocorrem em uma estação completamente atípica e sugerem causar impactos diretos a sociedade e ao meio ambiente. Desta forma espera-se que os estudos futuros possam abordar os seguintes aspectos:

- Analisar um período de no mínimo 30 anos de dados a fim de se obter mais detalhes de sua estrutura vertical e sua variabilidade interdecadal, interanual e intrasazonal.
- Buscar correlacionar os EQS com sistemas meteorológicos regionais e globais como os bloqueios, oscilações decadal do Pacífico, teleconexões , ENOS e outros sistemas.
- Verificar se os modelos de previsão de tempo regionais e/ou globais conseguem simular e identificar os EQS.
- Verificar quais as consequências que estes eventos causam ao meio ambiente a saúde da população, bem como correlacionar a ocorrência de queimadas sobre a região Sudeste do Brasil.
- Tentar correlacionar a ocorrência desses eventos as mudanças climáticas globais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADANA, F.J.S.; COLUCCI, S.J. Southern hemisphere blocking onset associated with upper-tropospheric divergence anomalies. **Journal of Atmosphere Science**. v. 62.p. 1614–1625, 2005.
- ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005. 185 p. (INPE-14056-TDI/1067). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.15.17.12>>. Acesso em: 30 fev. 2009.
- ASSIS, S. V.; FERREIRA, A. T. ; SILVA, M. V. Veranicos em Pelotas, RS: climatologia e causas da ocorrência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2006, 14., 2006, Florianópolis, SC. **Anais...**, 2006.
- ASSIS, S. V. ; FERREIRA, A. T. ; SILVA, M. V. . Situação desconfortante provocada pela ocorrência de veranico. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental** v. 18, p. 260-267, 2007.
- BARBER, R. T.; CHAVEZ, F. P. Biological Consequences of El Niño. **Science**, v. 222, p. 1203-1210, Dec 1983.
- BLUESTEIN, H. B. **Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes**. volume II: 1. ed. New York, Oxford University press, 1993. 594p. Observations and theory of weather systems
- CASARIN, D. P., KOUSKY, E. V. E. Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no Hemisfério Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2..1982, Pelotas, RS. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1982.
- CASARIN, D. P. **Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueios no Hemisfério Sul**. 1982. (INPE-2638-TDL/114). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1982.
- BASTOS, C. C.; FERREIRA, N. J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000 Rio de Janeiro,. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet...2000. p 612- 619. CD-ROM, Paper. (INPE-12473-PRE/7775). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1915/2005/03.15.19.20>>. Acesso em: 30 mai. 2009
- CARRIELLO, F.; SOARES, J. V.; FERREIRA, N. J. A resposta hidrológica das sub-bacias brasileiras e sua relação com o fenômeno ENSO-El Niño/Oscilação Sul. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2479-2486. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12689-PRE/7979). Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.109>> Acesso em: 26 jun. 2009

CAVALCANTI, I. F. A. Episódios El Niño/oscilação sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influencias sobre o Brasil. **Climanálise** - Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v. on line, n. Especial 10 anos,1996. (INPE-11879-PRE/7226). Disponível em: <http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/nino.html>>. Acesso em: 30 out. 2009.

CARVALHO, M. H. **Um estudo observacional sobre as ondas transientes no Hemisfério Sul**. 1982. 72 p. (INPE-2646-TDL/117). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1982. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.21.18.29>>. Acesso em: 06 out jan. 2010

DAMIÃO, M. C. M. **Bloqueio atmosférico sobre o hemisfério sul: diagnóstico, impacto climático e mecanismos físicos associados**. 2007. 129 p. Tese (Doutorado em Física) - Universidade de Lisboa- 2007.

DAMIÃO, M. C. M.; TRIGO, R. M.; DACAMARA, C. C.; CAVALCANTI, I. F. A. A comparison of blocking climatologies in southern hemisphere between NCEP-NCAR reanalyses and hadley centre model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8. (ICSHMO), 2006, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** Foz do Iguaçu,2006. p. 547-552. CD-ROM; On-line. (INPE-13817-PRE/9003). Disponível em: <http://urlib.net/cptec.inpe.br/adm_conf/2005/10.17.12.40> Acesso em: 04 mar. 2009.

FUENTES, M. V. Bloqueios. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. on line, n. Especial de 10 anos, 1996. (INPE-11880-PRE/7227). Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/bloqueio.html>>. Acesso em: 03 mar. 2010.

FERNANDES, K. A. **Cavados invertidos na região central da América do Sul**. 1996. 150 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1996.

GAN, M. A. ; KOUSKY, V. E. ; ROUPELEWSKI, C. F. . The South America Monsoon Rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 47-66, 2004.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. Mechanisms of the influence of El Niño and La Niña episodes on the frequency of extreme precipitation events in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8. (ICSHMO), 2006, Foz do Iguacu. **Proceedings...** Foz do Iguacu, 2006. p. 765-773. CD-ROM, On-line. Disponível em: <http://urlib.net/cptec.inpe.br/adm_conf/2005/10.31.22.33>. Acesso em: 09 jun. 2009.

HELLER, R. **Manuel de statistique biologique**. premiere cycle. Paris, France: Faculté des Sciences de Paris, 1968. v.1. 296 p.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo demográfico de 2006**. Dados referentes ao Sudeste do Brasil. Disponível em meio eletrônico. Disponível em meio eletrônico www.ibge.gov.br.

JACÓBSEN, L.O. Estudo de casos de veranico em Porto Alegre/RS de 1961 a 1985. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999. Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: SBA, 1999, p.1462-1466.

KRISHNAMURTI, T. N. The subtropical Jet Stream of Winter. **Journal of Meteorology**, v. 18, p.172-191, 1979.

KAROLY, D. K. Southern Hemisphere circulation features associated with El Niño-Souther Oscillation Events. **Journal of Climate**, v.4, p.1239-1252, 1989.

KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E.: Southern hemisphere blocking: a comparison between two indices. **Meteorology Atmosphere Physic**. v.42, p. 165–170, 1990.

KAYANO, M. T. Southeastern Pacific blocking episodes and their effects on the South American weather. **Meteorology and Atmospheric Physics**. v. 69, n. 3-4, p. 145-155, 1999. (INPE-11380-PRE/6817).

KINDSON, J. W. Intraseasonal variations in the Southern Hemisphere circulation. **Journal of Climate**, v. 4, p .939-953, 1991.

KUMAR, K. K. ; RAO, T. V. R. Dry and wet spells at Campina Grande - PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 71-74, 2005.

LEJENAS, H., OKLAND, H.: Characteristics of northern hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data. **Tellus**, v. 35, p. 350-362, 1983.

LEJENAS, H.: Characteristics of southern hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society** v.110, p. 967-979, 1984

MO, K.C. Persistent anomalies of the Southern Hemisphere Circulation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE, 1., 1983, São José dos Campos. **Proceedings...** São José dos Campos: American Meteorological Society, p.70-72, 1983.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do Pacífico. **Climanálise**. Ano 3. Número 1. Agosto 2005

MARQUES, R. F. C. **Bloqueio atmosférico no Hemisfério Sul**. 1996. 182 p. (INPE-6742-TDI/632). Tese (Doutorado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.29.05.23>>. Acesso em: 09 nov. 2009

MARENGO, J. A.; CORNEJO, A.G., OYAMBURO, N.C., CAVALCANTE, I.F.A. Estudo de caso da primeira massa de ar frio em 1996 no sul do Brasil. Observações e resultados do modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC/COLA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.2, p.09-24, dec 1997. (INPE-10707-PRE/6168)

MARTON, E.; ARAVEQUIA, J. A. Role of the basic state on the intraseasonal variability in the South Atlantic convergence zone. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8. (ICSHMO), 2006, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** 2006. p. 1819-1821. CD-ROM; On-line. (INPE-13877-PRE/9058). Disponível em: <http://urlib.net/cptec.inpe.br/adm_conf/2005/10.31.20.25.22>. Acesso em: 14 fev. 2011.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; SILVA, A. O.; NÓBREGA, E. M. A. S. .Ocorrência de veranicos no litoral do Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14 2006, Florianópolis SC. **Anais...** São José dos Campos SP : SBMET, 2006.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.; TOMASSELLA, J.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M.; BROWN, I. F. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**; v.21, p. 495-516, 2008.

MENDES, M. C. D.; TRIGO, R. M.; CAVALCANTI, I. F. A.; DACAMARA, C. C. Blocking Episodes in the Southern Hemisphere: Impact on the Climate of Adjacent Continental Areas. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 165, n. 9-10, p. 1941-1962, oct. 2008.

PADILHA, C. K. **Estagnação de massa de ar quente e seco sobre a região central do Brasil**. 2005. 143 p. (INPE-14492-TDI/1173) Dissertação (Mestrado em Meteorologia) -

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.18.14.09>>. Acesso em: 06 abr. 2009.

PRAKKI, S.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. Tropics - South America. In: KAROLY, D. J.; VINCENT, D. G. (ed.). **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Boston: American Meteorological Society, 1998. v. 27, p. 119-139. (INPE-11750-PRE/7109).

PRAKKI, S.; TEIXEIRA, M. S.; PADILHA, C. K. . Warm and Dry Spells (WDS) in Austral Winter over Central South American. **Annales Geophysicae**, v. 25, p. 1049-1069, Jun 2007.

PRAKKI, S.; SOUSA JÚNIOR, S. B. Regional Circulation Differences Between a Rainy Episode and a Dry Episode in Eastern São Paulo in March 2006. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n.4, p.404-416, dez 2008.

QUADRO, M.F.L. **Estudo de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1993. 124 p. (INPE-6341-TDI/593). Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.26.14.10>>. Acesso em: jun. 2010.

REX, D. F.: Blocking action in the middle troposphere and its effects upon regional climate I-An aerological study of blocking action. **Tellus**, v. 2, p.196-211, 1950a.

REX, D. F. Blocking action in the middle troposphere and its effects upon regional climate II-The climatology of blocking action. **Tellus**, v. 2,p. 275-301, 1950b

REX, D. F.: The effect of Atlantic blocking action upon European climate. **Tellus**, v.3, p. 1-16. 1951

RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; KIOSHI, H. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. D21, p. 26539-26551, Nov. 1996. (INPE-6023-PRE/2138). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.29.04.15>>. Acesso em: 22 fev. 2009

SOKAL, R, R. **Byometry**. 2. ed. New York,USA: State University 1981. v. 1. 859 p.

SOUSA JÚNIOR, S. B; PRAKKI, S. ; NUNES, L. H. . Chuva Intensa no setor Sul do Sudeste Brasileiro: O caso de Caraguatatuba em março de 1967. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju-SE. **Anais...**Campinas: SBA, 2007.

SINCLAIR, M.R. A climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 124, n. 2, p. 245-263, Feb. 1996.

SELUCHI, M. E. ; CHOU, S. C. **Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil**. Theoretical and Applied Climatology, v. 101, p. 1-11, 2008.

TRENBERTH, K.E., MO, K. C. Blocking in the southern hemisphere. **Monthly Weather Review**, v.113p.3-21, mar 1985.

TIBALDI, S.; MOLteni, F. On the operational predictability of blocking. **Tellus**,v .42, p. 343-365, 1990.

TEIXEIRA, M. S.; PRAKKI, S. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in Southern Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 135, p. 598-617, 2007.

UPPALA, S.M.; KALLBERG, P.W.; SIMMONS, A.J.; ANDRAE, U.; COSTA BECHTOLD, V.; FIORINO, M.; GIBSON, J.K.; HASELLER, J.; HERNANDEZ, A.; KELLY, G.A.; LI, X.; ONOGI, K.; SAARINEN, S.; SOKKA, N.; ALLAN, R.P.; AANDERSON, E.; ARPEN, K.; BALMASEDA, M.A.; BELJAARS, A.C.M.; VAN DE BERG, L.; BIDLON, J.; BORMANN, N.; CAIRES, S.; CHEVALLIER, F.; DETHOF, A.; DRAGOSAVAC, M.; FISHER, M.; FUENTES, M.; HAGEMANN, S.; HÖLM, E., HOSKINS, B.J.; ISAKSEN, L.; JANSSEN, P.A.E.M.; JENNE, R.; MCNALLY, A.P.; MAHFOUF, J.-F.; MORCRETTE, J.-J.; RAYNER, N.A.; SAUNDERS, R.W.; SIMON, P.; STERL, A.; TRENBERTH, K.E.; UNTCH, A.; VASILJEVIC, D.; VITERBO, P.; WOOLLEN, J. 2005: The ERA-40 re-analysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 131, p. 2961-3012.doi:10.1256/qj.04.176. Disponível em http://dataortal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/.

VAN LOON, H. Blocking action in the southern hemisphere. Part I. **Notos**, v. 5, p. 171-175.1956.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. 2.ed. Brasília: INMET, 2000. v. 1. 515p.

WANG, B. Interdecadal changes in El Nino onset in the last four decades. **Journal of Climate**, v.8, 2, p. 267-285, 1995.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2.ed. Florida-US: Department of Earth and Atmospheric Sciences-Cornell University, 2006. v.91. 611 p.