

Universidade de São Paulo  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas  
Departamento de Ciências Atmosféricas

THIAGO SOUZA DIAS DEGOLA

**IMPACTOS E VARIABILIDADE DO ANTICICLONE SUBTROPICAL DO  
ATLÂNTICO SUL SOBRE O BRASIL NO CLIMA PRESENTE E EM CENÁRIOS  
FUTUROS**

São Paulo

2013

THIAGO SOUZA DIAS DEGOLA

**IMPACTOS E VARIABILIDADE DO ANTICICLONE SUBTROPICAL DO  
ATLÂNTICO SUL SOBRE O BRASIL NO CLIMA PRESENTE E EM CENÁRIOS  
FUTUROS**

Dissertação desenvolvida como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Meteorologia junto ao Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Tércio Ambrizzi

**Versão Corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade.**

São Paulo

2013

*“A persistência é o menor caminho do êxito.”*

*Charles Chaplin*

*“Nem tudo que pode ser contado conta, e nem tudo que conta pode ser contado.”*

*Albert Einstein*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que fizeram parte, por menor que tenha sido, de mais essa etapa na minha vida. Sem todas essas pessoas seria impossível alcançar êxito.

Primeiramente, meus agradecimentos são para o professor Dr. Tércio Ambrizzi pela orientação, pelos conhecimentos transmitidos e pela grande confiança debitada a mim mesmo após momentos difíceis. Agradeço a Dra. Michelle Reboita pela grande ajuda ao longo de todas as etapas do projeto como segunda orientadora, transmitindo conhecimento e tendo muita paciência ao responder e-mails até nos domingos. Também não poderia esquecer-me de agradecer ao professor Dr. Ricardo de Camargo a gigantesca ajuda ao longo dos anos, sendo uma pessoa extremamente atenciosa e prestativa nas diversas reuniões intermináveis que se estendiam pelas noites de sexta-feira. E a todos os professores do DCA/IAG-USP pelos ensinamentos e amizade.

Um agradecimento especial vai para a minha mãe, Marcia de Souza Dias, e para o meu pai, Nino Degola, pelo amor, pela dedicação, pelas palavras de apoio, pelo incentivo e por sempre terem acreditado na realização desta etapa. Agradeço à minha irmã, Tatiana Dias Degola, por estar a vida inteira ao meu lado desempenhando o papel de irmã mais velha com maestria; ao meu irmão caçula, Lorenzo Degola; à minha avó, Therezinha Gomes de Souza Dias, minha segunda mãe, por todo o amor e dedicação depositado em todas as etapas da vida; ao meu falecido avô, Selvino Degola, que não cheguei a conhecer, mas cujas histórias encantam-me até hoje, e à minha avó, Carla; ao Antônio Carlos Morais Pucci, um segundo pai; aos tios, Carlos Souza Dias filho, Claudia Dias Damásio de Oliveira e Patrícia Degola e aos primos Felipe, Rodrigo, Gabriela e Fabrizzio por fazerem parte de diversos momentos felizes e descontraídos.

Um grande agradecimento vai para a minha namorada, Aline Gomes de Freitas, por ser companheira, amiga e compreensiva e por ter tornado meus dias mais felizes e sorridentes ao longo dos últimos cinco anos.

Agradeço aos amigos Leonardo, Tássio, Alessandra, Mayara, Renato, João, Graziella, Marcia e Giulia, que foram uma segunda família e contribuíram diretamente para que eu conseguisse chegar até aqui depois de longas horas de estudo e, também, prazerosas horas de lazer.

Agradeço à pessoa mais incrível que eu já conheci, que é o meu avô, Dr. Carlos Ramos de Souza Dias, uma pessoa extremamente dedicada e empenhada. Sem ele, eu nunca teria escolhido minha profissão e seria uma pessoa muito mais pobre de espírito.

Agradeço à CAPES o apoio financeiro nestes últimos anos e a todos os funcionários do IAG a atenção.

## RESUMO

DEGOLA, T, S, D. **Impactos e variabilidade do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros**, 2013. 91p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Este estudo apresenta a caracterização climatológica do anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e a sua influência no clima do Brasil por meio de correlações com diversas variáveis meteorológicas e estudos de caso de eventos extremos. Também foi realizada uma caracterização do ASAS em cenários futuros de aquecimento global (cenários A1B, A2 e B1) por meio das projeções do modelo ECHAM5/MPI para o período de 2000 até 2100. Para tanto, utilizou-se um algoritmo para identificar mês-a-mês a localização do ASAS nos dados do Era-Interim ECMWF no período de 1989-2010. Durante este período, a variação latitudinal e a pressão central do ASAS apresentaram um comportamento sazonal atingindo latitudes mais a norte e maiores pressões nos meses de inverno e latitudes mais a sul e menores pressões nos meses de verão. Já a variação longitudinal do ASAS não mostrou um comportamento dependente das estações do ano. Nos meses de março a setembro, o anticiclone demonstrou uma grande variabilidade da sua posição longitudinal, enquanto de outubro até fevereiro, o ASAS esteve sempre próximo a uma região fixa no oceano Atlântico Sul na longitude próxima de 5°W. Quando o ASAS se encontra deslocado para oeste (leste) da sua posição climatológica, são observados ventos mais intensos (fracos) em todo o nordeste do Brasil e temperaturas mais elevadas (baixas) na Região Sul e na parte sul da Região Sudeste do Brasil. Esses resultados foram comprovados por meio de estudos de casos dos meses de setembro de 2007 e setembro de 1993, quando o ASAS estava deslocado para oeste e leste respectivamente da sua posição climatológica. Com relação aos dados futuros, o ASAS tende a estar deslocado para oeste no próximo século, indicando um aumento dos ventos alísios na Região Nordeste do Brasil.

## ABSTRACT

DEGOLA, T, S, D. **Impacts and variability of the South Atlantic Subtropical High pressure over Brazil in the present climate and future scenarios**, 2013. 91p. Master Dissertation – Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, São Paulo, 2013.

This paper presents a characterization of the climatological Subtropical Anticyclone of the South Atlantic High (SASH) and its influence on the climate of Brazil through correlations with various meteorological variables and case studies of extreme events. Furthermore, we performed a characterization of SASH in future scenarios of global warming (A1B, A2 and B1) through the model projections ECHAM5/MPI for 2000 to 2100. For this purpose, it used an algorithm for identifying month-to-month high pressures location using Era-Interim/ECMWF data in the period 1989-2010. During this period, the latitudinal variation of SASH and the central pressure indicated a seasonal behavior: latitudes further north and higher pressures in the winter months and south latitudes and lower pressures during the summer months. The variation of the longitudinal SASH showed no dependent behavior of the seasons. In the months from March to September, the anticyclone possessed a great variability of its longitudinal position; since October until February, SASH has always been close to a fixed region in the South Atlantic Ocean near the longitude of  $5^{\circ}$  W. When SASH is shifted to the west (east) of its climatological position, stronger winds are observed (weak) throughout northeastern Brazil and higher temperatures (lower) in the South and the southern part of southeastern Brazil. These results were confirmed by means of case studies of the months of September 2007 and September 1993, when the SASH was shifted to the west and east, respectively, of its climatological position. With respect to future data, SASH tends to be shifted to the west in the next century, indicating an increase in trade winds in northeastern Brazil.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1** Climatologia da pressão e dos ventos ao nível médio do mar em (a) janeiro e (b) julho. Os anticiclones semipermanentes estão identificados com a letra H. Fonte: Varejão – Silva, 2000).....**pag. 2**
- Figura 1.2** Ilustração representando a circulação geral da atmosfera. (a) em duas dimensões e (b) em três dimensões. Fonte: <http://www.geology.um.maine.edu/ges121/lectures/20-monsoons/hadley.jpg> acessado em 10/01/2013.....**pag. 3**
- Figura 2.1** Representação do esquema numérico utilizado neste trabalho.....**pag. 12**
- Figura 2.2** Condições de contorno para rastreamento do ASAS. Área compreendida entre 38°S –20°S e 38°W – 10°E.....**pag. 13**
- Figura 2.3** Diferentes configurações do ASAS para um período específico.....**pag. 14**
- Figura 2.4** Metodologia utilizada para calcular a correlação de diversas variáveis meteorológicas com a posição e a intensidade do ASAS.....**pag. 16**
- Figura 3.1** Campo médio anual para o período de 1989-2010 das variáveis da PNMM [hPa] e do vento a 10m [m/s].....**pag. 21**
- Figura 3.2** Campos médios sazonais para o período de 1989-2010 das variáveis da PNMM [hPa] e do vento a 10m [m/s].....**pag. 22**

<b>Figura3.3</b> Campos médios mensais para o período de 1989-2010 das variáveis da PNMM [hPa] e do vento a 10m [m/s].....	<b>pag. 23</b>
<b>Figura3.4</b> Anomalia sazonal da PNMM [hPa] em relação à média anual (1989-2010).....	<b>pag. 26</b>
<b>Figura3.5</b> Anomalia mensal da PNMM [hPa] em relação à média anual (1989-2010).....	<b>pag. 27</b>
<b>Figura3.6</b> Médias mensais entre o período de 1989-2010 da PNMM para diferentes isóbaras: (a) 1018hPa; (b) 1019hPa; (c) 1020hPa; 1021hPa.....	<b>pag. 29</b>
<b>Figura3.7</b> Perfil vertical médio de ômega [Pa/s] e divergência horizontal [m/s] para a média anual de 1989-2010. Corte latitudinal para a média longitudinal entre 20°W e 10°E.....	<b>pag. 30</b>
<b>Figura3.8</b> Perfil vertical médio de ômega [Pa/s] e divergência horizontal [m/s] para as médias sazonais de 1989-2010. Corte latitudinal para a média longitudinal entre 20°W e 10°E.....	<b>pag. 32</b>
<b>Figura3.9</b> Perfil vertical médio de ômega [Pa/s] e divergência horizontal [m/s] para as médias mensais de 1989-2010. Corte latitudinal para a média longitudinal entre 20°W e 10°E.....	<b>pag. 33</b>
<b>Figura4.1</b> Representação espacial do ciclo anual do ASAS encontrado por: a) Hastenrath (1985) b) Machel et al (1998).....	<b>pag. 35</b>

**Figura4.2** Representação espacial do ciclo anual do ASAS para a média entre 1989-2010. **a)** Variação bidimensional **b)** Variação longitudinal **c)** Variação latitudinal.....**pag. 36**

**Figura4.3** Variação média mensal (1989-2010) da pressão no centro do ASAS.....**pag. 37**

**Figura4.4** Variação mensal da posição **a)** latitudinal, **c)** longitudinal e da **e)** intensidade (em hPa) do ASAS. Com valores médios anuais em vermelho. E gráficos tipo caixa das posições **b)** latitudinais, **d)** longitudinais e da **f)** intensidade (em hPa) do ASAS.....**pag. 41**

**Figura4.5** Posição central do ASAS para cada mês entre 1989-2010 separado mensalmente.....**pag. 43**

**Figura4.6** Variação mensal da posição **a)** latitudinal, **b)** longitudinal e da **c)** intensidade do centro do ASAS para os dados ERA-Interim ECMWF e NCEP/NCAR Reanalysis I.....**pag. 47**

**Figura4.7** Médias quadrienais para as isóbaras de **a)** 1015hPa, **b)** 1016hPa, **c)** 1018hPa e **d)** 1020hPa para os dados de Ranálise I do NCEP/NCAR.....**pag. 48**

**Figura5.1** Correção entre a variação longitudinal mensal do ASAS com a anomalia mensal da **(a)** PNMM, **(b)** Geopotencial em 500hPa, **(c)** Temperatura a 2m, **(d)** Vento zonal a 10m, **(e)** Vento meridional a 10m e **(f)** Magnitude do vento a 10m.....**pag. 50**

**Figura5.2** Correlação da variação longitudinal do ASAS com o vento zonal e meridional a 10m. **(a)** Esquema representando a anomalia na circulação zonal e meridional quando o ASAS está deslocado para oeste. **(b)** Esquema representando a anomalia na circulação zonal e

meridional quando o ASAS está deslocado para leste.....**pag. 52**

**Figura5.3** Resumo, em baixos níveis, do que acontece quando o ASAS está deslocado para oeste e para leste da sua posição climatológica.....**pag. 53**

**Figura5.4** Correção entre a média sazonal da variação longitudinal do ASAS com a anomalia sazonal da (a) componente zonal do vento a 10m, (b) componente meridional do vento a 10m e (c) magnitude do vento a 10m .....**pag. 54**

**Figura5.5** Correção entre a média sazonal da variação longitudinal do ASAS com a anomalia sazonal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa e (c) Temperatura a 2m.....**pag. 55**

**Figura6.1** (a) Posição central mensal do ASAS para o mês de setembro de 1989-2010 destacando os anos de 1994 e 2007 quando o ASAS esta deslocado para oeste e 1993 quando o ASAS estava para leste. (b) Isóbara de 1021hPa para a média de setembro (1989-2010) e para os meses de setembro destacados na figura (a).....**pag. 57**

**Figura6.2** Campos sinóticos médios mensais para o mês de setembro de 2007. (a) PNMM [hPa], temperatura 2m [°C] e vento a 10m [m/s], (b) Umidade específica [g/kg] e linhas de corrente em 850hPa, (c) Vorticidade relativa [ $10^{-5}s^{-1}$ ] e Altura geopotencial [dam] em 500hPa, (d) Linhas de corrente e isotacas [m/s] em 250hPa. E anomalia dos campos sinóticos em relação à média de setembro 1989-2010. (d) anom. PNMM [hPa], anom. temperatura 2m [°C] e anom. vento a 10m [m/s], (e) anom. umidade específica [g/kg] e anom. vento [m/s] em 850hPa, (f) anom. vorticidade relativa [ $10^{-5}s^{-1}$ ] e anom. altura geopotencial [dam] em 500hPa, (g) anom. vento [m/s] e anom. isotacas [m/s] em 250hPa.....**pag. 58**

**Figura 6.3** Campos sinóticos médios mensais para o mês de setembro de 1993. (a) PNMM [hPa], temperatura 2m [°C] e vento a 10m [m/s], (b) Umidade específica [g/kg] e linhas de corrente em 850hPa, (c) Vorticidade relativa [ $10^{-5}s^{-1}$ ] e Altura geopotencial [dam] em 500hPa, (d) Linhas de corrente e isotacas [m/s] em 250hPa. E anomalia dos campos sinóticos em relação à média de setembro 1989-2010. (d) anom. PNMM [hPa], anom. temperatura 2m [°C] e anom. vento a 10m [m/s], (e) anom. umidade específica [g/kg] e anom. vento [m/s] em 850hPa, (f) anom. vorticidade relativa [ $10^{-5}s^{-1}$ ] e anom. altura geopotencial [dam] em 500hPa, (g) anom. vento [m/s] e anom. isotacas [m/s] em 250hPa.....**pag. 59**

**Figura 7.1** Histograma da diferença da posição latitudinal mensal do ASAS entre o ECMWF e ECHAM5/MPI (diversos cenários) para o período de 2001-2010. (a) A1B\_run1, (b) A1B\_run3, (c) A2\_run1, (d) A2\_run3, (e) B1\_run1 e (f) B1\_run3.....**pag. 64**

**Figura 7.2** Histograma da diferença da posição longitudinal mensal do ASAS entre o ECMWF e ECHAM5/MPI (diversos cenários) para o período de 2001-2010. (a) A1B\_run1, (b) A1B\_run3, (c) A2\_run1, (d) A2\_run3, (e) B1\_run1 e (f) B1\_run3.....**pag. 65**

**Figura 7.3** Histograma da diferença da pressão central média mensal do ASAS entre o ECMWF e ECHAM5/MPI (diversos cenários) para o período de 2001-2010. (a) A1B\_run1, (b) A1B\_run3, (c) A2\_run1, (d) A2\_run3, (e) B1\_run1 e (f) B1\_run3.....**pag. 66**

**Figura 7.4** Variação média anual da variação latitudinal do ASAS para os diferentes cenários do modelo ECHAM5/MPI. Junto com a posição latitudinal média anual do ASAS (1989-2010) para os dados ECMWF.....**pag. 68.**

**Figura7.5** Variação média anual da variação longitudinal do ASAS para os diferentes cenários do modelo ECHAM5/MPI. Junto com a posição longitudinal média anual do ASAS (1989-2010) para os dados ECMWF.....**pag. 68**

**Figura7.6** Variação média anual da pressão central do ASAS para os diferentes cenários do modelo ECHAM5/MPI. Junto com a pressão central média anual do ASAS (1989-2010) para os dados ECMWF.....**pag. 69**

**Figura10.1** Correção entre a variação mensal da pressão central do ASAS com a anomalia mensal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa, (c) Temperatura a 2m, (d) Vento zonal a 10m, (e) Vento meridional a 10m e (f) Magnitude do vento a 10m.....**pag. 86**

**Figura10.2** Correção entre a média sazonal da pressão central do ASAS com a anomalia sazonal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa e (c) Temperatura a 2m.....**pag. 87**

**Figura10.3** Correção entre a média sazonal da variação da pressão central do ASAS com a anomalia sazonal da (a) vento zonal a 10m, (b) vento meridional a 10m e (c) magnitude do vento a 10m.....**pag. 88**

**Figura10.4** Correção entre a variação mensal da pressão central do ASAS com a anomalia mensal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa, (c) Temperatura a 2m, (d) Vento zonal a 10m, (e) Vento meridional a 10m e (f) Magnitude do vento a 10m.....**pag. 89**

**Figura 10.5** Correção entre a média sazonal da variação longitudinal do ASAS com a anomalia sazonal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa e (c) Temperatura a 2m.....**pag. 90**

**Figura 10.6** Correção entre a média sazonal da variação longitudinal do ASAS com a anomalia sazonal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa e (c) Temperatura a 2m.....**pag. 91**

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 4.1** Resumo dos resultados extremos encontrados pelo algoritmo de rastreamento do ASAS para o período de 1989-2010.....**pag. 38**

**Tabela 4.2** Resultados mensais da posição do ASAS para diversos trabalhos.....**pag. 38**

**Tabela 4.3** Resultados sazonais da posição do ASAS para diversos trabalhos.....**pag. 39**

**Tabela 4.4** Correlação do rastreamento do ASAS para diferentes fontes de dados.....**pag. 47**

**Tabela 7.1** Valores de REQM e BIAS obtidos comparando os resultados da variação latitudinal do ASAS após o rastreamento do mesmo com os dados do ECMWF e diferentes cenários do ECHAM5/MPI para o período de 2000 até 2010.....**pag. 64**

**Tabela 7.2** Valores de REQM e BIAS obtidos comparando os resultados da variação longitudinal do ASAS após o rastreamento do mesmo com os dados do ECMWF e diferentes cenários do ECHAM5/MPI para o período de 2000 até 2010.....**pag. 65**

**Tabela 7.3** Valores de REQM e BIAS obtidos comparando os resultados da variação da pressão central do ASAS após o rastreamento do mesmo com os dados do ECMWF e diferentes cenários do ECHAM5/MPI para o período de 2000 até 2010.....**pag. 66**

**Tabela 10.1** Valores de saída obtidos do algoritmo de rastreamento do ASAS para os dados do ECMWF.....**pag. 79**

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**UR** – Umidade Relativa

**ZCIT** – Zona de Convergência Inter Tropical

**ASAS** – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

**OAS** – Oceano Atlântico Sul

**AS** – América do Sul

**HS** – Hemisfério Sul

**NEB** – Nordeste do Brasil

**ECMWF**- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

**ECHAM** – ECMWF + Hamburgo

**NCEP** – National Centers of Environmental Prediction

**UTC** – Universal Time Coordinated

**GrEC** – Grupo de Estudos Climáticos

**USP** – Universidade de São Paulo

**PNMM** – Pressão ao Nível Médio do Mar

**GRADS** – Grid Analysis and Display System

**MATLAB** – Matrix Laboratory

**FORTTRAN** – Formula Translation System

**REQM** – Raiz do Erro Quadrático Médio

**HN** – Hemisfério Norte

**IPCC** – Intergovernmental Panel on Climate Change

## LISTA DE SÍMBOLOS

°	graus
<b>S</b>	Sul
<b>N</b>	Norte
<b>E</b>	Leste
<b>W</b>	Oeste
<b>hPa</b>	hectopaspais
<b>m</b>	metro
<b>r</b>	coeficiente de correlação de Pearson
<b>N</b>	Tamanho da série
<b>Pa</b>	Pascal
<b>s</b>	segundo
°C	graus Celsius
<b>g</b>	grama
<b>kg</b>	quilograma
<b>run1</b>	simulação do ECHAM5/MPI considerando uma condição inicial
<b>run3</b>	simulação do ECHAM5/MPI considerando uma condição inicial

# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	ii
<b>RESUMO</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiii
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	xv
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	xvi
<b>CAPÍTULO 1 – Introdução</b> .....	1
1.1 Anticiclones.....	1
1.2 Revisão Bibliográfica.....	5
1.3 Objetivos.....	8
<b>CAPÍTULO 2 - Dados e Metodologia</b> .....	9
2.1 Dados.....	9
2.2 Metodologia do esquema numérico de rastreamento do ASAS.....	12
2.3 Metodologia da correlação do centro do ASAS para diversas variáveis meteorológicas.....	15
2.4 Metodologia para quantificar o grau de acerto do modelo ECHAM5/MPI.....	18

<b>CAPÍTULO 3 – Descrição Climática do ASAS.....</b>	<b>20</b>
<b>CAPÍTULO 4 – Rastreamento do ASAS.....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO 5 – Correlação do ASAS com diversas variáveis meteorológicas.....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO 6 – Estudo de caso do ASAS a leste e a oeste.....</b>	<b>57</b>
<b>CAPÍTULO 7 – O ASAS em cenários futuros.....</b>	<b>62</b>
<b>CAPÍTULO 8 – Discussão Final.....</b>	<b>70</b>
8.1 Sumário e discussões gerais do trabalho.....	70
8.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	72
<b>CAPÍTULO 9 - Referências Bibliográficas.....</b>	<b>73</b>
<b>CAPÍTULO 10 - Apêndices.....</b>	<b>79</b>

# CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Anticiclones

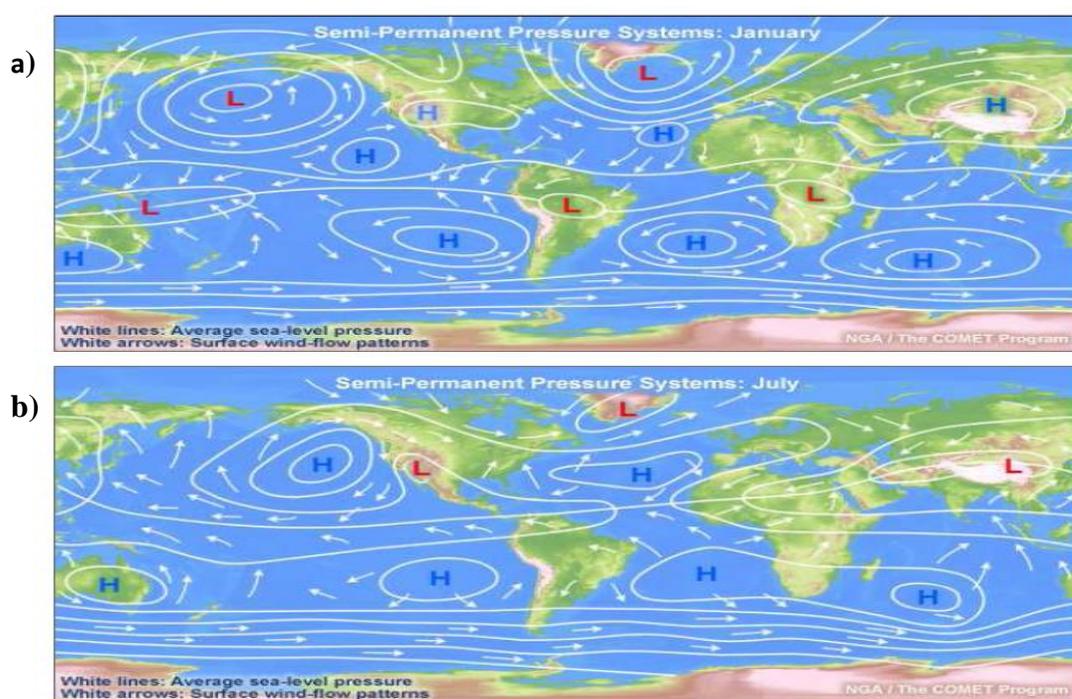
A análise de cartas sinóticas com a representação do campo de pressão à superfície do globo, muitas vezes, revela a presença de uma ou mais isóbaras fechadas, delimitando uma área onde a pressão é maior do que em qualquer outro ponto a sua volta. Tais núcleos de pressão mais elevada são denominados centros de alta pressão, centros anticiclônicos ou, simplesmente, anticiclones.

Os anticiclones são produzidos por uma massa de ar descendente. À medida que o ar desce, ele aquece a atmosfera e a umidade relativa diminui provocando evaporação das gotículas de água. Esse ar seco e descendente torna a atmosfera estável impedindo a formação de nuvens. Por essa razão os anticiclones estão associados a condições de tempo seco e sem nebulosidade nos quais predominam estabilidade atmosférica e céu limpo (Musk, 1988). Os sistemas de alta pressão são muito mais extensos que os ciclones e podem bloquear a trajetória de baixas. Quando um anticiclone persiste numa região por vários dias ou por pelo menos seis dias, segundo Van Loon (1956); Writh (1974), diz-se que ele atua como um sistema de bloqueio.

Existem três tipos de anticiclones no globo: os polares, os migratórios e os semipermanentes. Os anticiclones polares, como o próprio nome já diz, são formados próximos dos polos. Nessas regiões, o ar próximo da superfície encontra-se muito frio por conta da baixa incidência de radiação e da grande perda radiativa na superfície gelada. Esse esfriamento do ar nas camadas baixas faz com que o ar próximo da superfície se torne mais denso e a atmosfera se torne estável gerando movimentos de ar descendentes no centro desse sistema. Os anticiclones polares são mais intensos no inverno, quando as regiões próximas ao polo estão mais frias. No verão as regiões nas maiores latitudes se aquecem e o gradiente térmico entre o polo e as médias latitudes diminui fazendo com que os anticiclones polares se tornem mais fracos. Um trabalho pioneiro na compreensão da formação dos anticiclones polares é o de Wexler (1937), citado por Cury (1983), no qual foi implementado um modelo numérico dinâmico para a simulação de anticiclogênese.

Os anticiclones polares muitas vezes atingem menores latitudes e se transformam em anticiclones migratórios. Estes, de natureza eventual, possuem um curto ciclo de vida (2-3 dias) e vão alterando as condições de tempo por onde passam.

Os anticiclones subtropicais, ou altas semipermanentes, são conhecidos como as maiores altas quentes do globo. Eles são observados próximos às latitudes de 30° nas regiões oceânicas e consistem em extensas áreas de ar subsidente seco e quente. Eles possuem essas características devido à intensa radiação solar tropical, altas temperaturas e elevada umidade específica sobre o oceano (Nimer, 1979). Em contra partida, apesar dessas características, o sistema é incapaz de gerar precipitação significativa de chuva já que a umidade e a nebulosidade a ele associadas se restringem a uma estreita faixa da atmosfera próxima a superfície marítima (Moreira, 2002). Embora sejam características persistentes da circulação de escala planetária, os anticiclones semipermanentes recebem essa denominação porque sofrem importantes variações temporais de posição e intensidade (Ito, 1999).

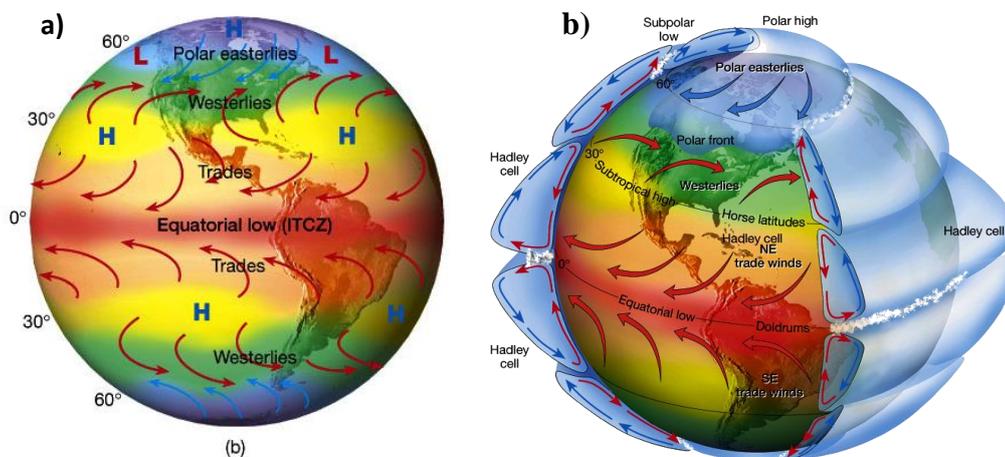


**Figura 1.1** - Climatologia da pressão e dos ventos ao nível médio do mar em (a) janeiro e (b) julho. Os anticiclones semipermanentes estão identificados com a letra H. Fonte: Programa COMET

No Hemisfério Sul, existem três anticiclones semipermanentes à superfície localizados na zona subtropical oceânica: do Atlântico Sul, do Índico e do Pacífico Sul (**Figura 1.1**). A localização geográfica dos centros semipermanentes varia no tempo em torno de uma

posição média, que, de certo modo, está relacionada com o caminho aparente do sol (Varejão-Silva, 2000).

A formação dos anticiclones semipermanentes está intimamente ligada ao mecanismo de circulação geral da atmosfera. A radiação solar absorvida nos trópicos excede a perda de radiação infravermelha, gerando um acúmulo de energia. O oposto ocorre nos polos. Como o ar na região tropical é mais quente e, portanto, mais leve do que na sua vizinhança, irá induzir a convergência dos ventos na superfície de ambos os hemisférios para a região equatorial. Esses ventos são impulsionados pela força do gradiente de pressão e defletidos por efeito da rotação da Terra (força de Coriolis). Os ventos que convergem no Equador são denominados ventos alísios e a região da convergência e ascensão deles, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Na troposfera superior, os ventos divergem subsidindo em ambos os hemisférios por volta de 30° fechando uma circulação térmica denominada *circulação de Hadley*, caracterizada por uma circulação meridional combinada com a ascensão do ar quente próximo ao Equador e com afundamento de ar frio nos subtropicais (**Figura 1.2**).



**Figura 1.2** – Ilustração representando a circulação geral da atmosfera. **(a)** em duas dimensões e **(b)** em três dimensões. Fonte: [http://wps.prenhall.com/esm\\_tarbuck\\_escience\\_9/](http://wps.prenhall.com/esm_tarbuck_escience_9/) acessado em 15/04/2013.

Os cinturões das altas subtropicais semipermanentes situam-se na parte oceânica do ramo descendente da circulação de Hadley por volta de 30° de latitude, região conhecida como latitude dos cavalos; nessa região os ventos são fracos e as calmarias frequentes.

O ASAS situa-se no centro do OAS e está associado à Massa Tropical Atlântica (mTa). Esse sistema é fundamental no clima da AS tanto nos meses de verão quanto nos meses de inverno (Bastos e Ferreira, 2000).

## 1.2 Revisão Bibliográfica

O primeiro a descobrir e a definir os grandes centros de alta pressão semipermanente foi Teissereng de Bort (1983), citado em Davis et al. (1997) e Machel et al. (1998) através de mapas mensais de pressão média ao nível do mar. A partir de então, poucos estudos foram publicados abordando os diversos aspectos desses sistemas de circulação, particularmente sobre o Atlântico Norte e a Europa, onde existe mais densa cobertura de dados (Ito,1999). Um trabalho pioneiro foi feito por Hastenrath (1985), que investigou o comportamento e as características de todas as altas subtropicais semipermanentes de ambos os hemisférios por meio de cinco anos de dados. O autor fez análises de variação mensal em latitude e longitude da posição dos centros de alta e estudou as características do ciclo anual e do gradiente meridional de pressão. Vários anos depois, Machel et al. (1998) analisaram o comportamento dos centros de pressão sobre o Oceano Atlântico – Baixa da Islândia, Alta dos Açores, ZCIT e ASAS com dados desde 1881. Eles consideraram as variações de posição e intensidade, variações intra e interanuais, persistência de anomalias, tendências lineares e interações. Particularmente para o ASAS, eles mostraram que sua variação ao longo do ano é caracterizada por uma oscilação longitudinal (movimento leste-oeste) com período de seis meses, com sua posição mais a leste ocorrendo em outubro e abril e a posição mais a oeste, em julho, agosto e de janeiro a março. A pressão central do ASAS varia entre 1021 hPa de dezembro a abril e 1026 hPa em agosto. Ito (1999), usando um procedimento automatizado para localizar e seguir centros de alta pressão aplicado a quinze anos de dados, confirmou os resultados de Machel et al (1998) para o ASAS, descrevendo em detalhes o seu deslocamento leste e oeste e seu comportamento diário que, em geral, segue o padrão de sistemas frontais. Quando há passagem de uma frente fria, é observado um deslocamento meridional do ASAS em direção a leste.

É interessante notar também que Ito (1999) fez alguns estudos de caso e identificou a importância do ASAS como um sistema de bloqueio atmosférico sobre a América do Sul.

A **Figura 1.1** mostra que o ASAS, sistema indicado pela letra H no oceano Atlântico Sul, no inverno ocupa uma área maior do que no verão, o que acaba influenciando as regiões Sudeste e Nordeste do Brasil. Como, no inverno, parte do ASAS situa-se sobre a Região Sudeste, ele inibe a influência/formação de outros sistemas atmosféricos e a precipitação na região é praticamente devido aos sistemas frontais e ciclônicos. Por outro lado, no verão, como

esse sistema está afastado da costa brasileira, sua circulação contribui para o transporte de umidade para o interior do continente e favorece a precipitação (Reboita et al. 2009a).

O ASAS, dependendo de sua posição, também pode favorecer ou não a precipitação no litoral do NEB. A precipitação é favorecida quando esse sistema está deslocado para o sul de sua posição climatológica e próximo ao continente sul-americano, pois os ventos do setor norte do ASAS podem intensificar os ventos de sudeste/leste que chegam ao litoral nordestino e, assim, contribuem para o maior transporte de umidade do oceano para o continente. Já, quando o ASAS está afastado do continente e não tão deslocado para sul, desfavorece os ventos de sudeste/leste e, assim, contribui para o decréscimo da precipitação (Moscati, 1991).

Nos meses de verão do HS, o aquecimento continental e a grande disponibilidade de umidade vindas do OAS promovem condições de instabilidade na atmosfera. Esse ar quente e úmido ascende transportando umidade em altitude e favorece a formação de nuvens espessas e conseqüentemente grandes volumes de chuva. Nessa época o ASAS se encontra reduzido e deslocado para a direção leste do OAS. Sobre o continente prevalece um sistema de baixa pressão térmica (Nimer, 1979). Embora nos meses de verão o ASAS esteja mais afastado da AS, o anticiclone costuma avançar sobre o Brasil. Nesse período a atividade convectiva é inibida, o que causa redução da precipitação e elevação das temperaturas. Prates (1994), Cupolillo (1995), Paiva (1995) e Silva Dias e Marengo (2002) caracterizam esses episódios como veranicos – curtos períodos de estiagem durante a estação chuvosa, com duração de dez a vinte dias.

Nos meses de inverno, o esfriamento continental estabiliza a atmosfera e os acumulados de precipitação reduzem. O flanco oeste do ASAS se estabelece de forma persistente sobre a AS provocando forte subsidência atmosférica e diminuindo a umidade relativa.

Segundo Vianello e Maia (1986), devido à subsidência característica, a atuação do ASAS no continente é responsável por dias de céu claro, ausência de chuvas e agravamento da poluição atmosférica. O sistema “*inibe a entrada de frentes e causa inversão térmica e concentração de poluentes nos principais centros urbanos das regiões Sudeste e Sul*” (Bastos e Ferreira, 2000, p. 612). Padilha e Satyamurty (2004) e Ferreira et al. (2006) estudaram episódios extremos de baixa umidade relativa no Brasil, mais especificamente na Região Centro-Oeste, e observaram que esses episódios estão relacionados à estagnação de uma massa de ar quente e seca associada ao ASAS.

O ASAS é o principal responsável por ventos significativos de quadrante leste. Servian e Lukas (1990 *apud* QUADRO et. al. 1996) verificaram que, nos primeiros meses do

ano, a direção predominante dos ventos no litoral nordestino é dos setores leste e nordeste. Com a intensificação do ASAS e a intrusão de seu flanco oeste no continente, a circulação anticiclônica passa a ser perpendicular à costa nordestina com ventos de sudeste. Nos meses entre abril e julho, o litoral leste do NEB é beneficiado pelo transporte de umidade marítima, o que define nesse período a sua estação chuvosa. O trabalho de Vianello e Maia (1986) considera o anticiclone determinante na definição de grande parte das condições de tempo no continente sul-americano. Moscati (1991) e, posteriormente Reboita (2010), destacam a posição do ASAS como fundamental para o regime de precipitação no litoral do NEB. Quando o ASAS está afastado do continente e não tão a sul, os ventos de sudeste/leste se enfraquecem e contribuem para o decréscimo de precipitação. Molion et al. (2004) também destaca a importância da posição do anticiclone no clima da AS. Ele menciona que o clima dessa região é amplamente afetado pelo deslocamento longitudinal (zonal) do centro do ASAS.

Barbosa (1999) associa a variabilidade anual de chuvas no NEB à posição do ASAS. Segundo o autor, em anos secos, o sistema costuma encontrar-se ampliado espacialmente com o eixo do seu centro inclinado para norte. Já em anos acima da média na região, o eixo do ASAS apresenta-se expandido zonalmente para oeste, com uma maior penetração sobre o continente na altura do sudeste do Brasil. Barbosa (1999) também observa que, em sua posição média, o ASAS tem seu eixo inclinado perpendicularmente à costa sul da Bahia, sendo essa uma posição intermediária às anteriores (nem tanto ao norte, nem tanto ao oeste).

Talvez pelo fato de serem os principais responsáveis pelas mudanças no tempo em médias latitudes, os ciclones vêm sendo muito mais largamente estudados do que os anticiclones, que são associados a “bom tempo”. Contudo, a atmosfera é um fluido contínuo em que calor e umidade são transportados pelos ciclones e anticiclones agindo em conjunto, sustentando a circulação geral da atmosfera (Ito, 1999). Por todos esses motivos, o estudo dos anticiclones e especialmente o ASAS é de extrema importância e essencial para a compreensão da variabilidade atmosférica.

### 1.3 Objetivos

Este estudo teve como objetivo avaliar a influência do ASAS no Brasil no clima presente (período de 1989-2010) e futuro (período de 2010-2100). Constituíram-se objetivos específicos:

- Caracterizar o ASAS espacialmente tanto na estrutura horizontal quanto na vertical através de médias climatológicas mensais e sazonais de diversas variáveis meteorológicas;
- Fazer uma base de dados da posição e da intensidade do ASAS mês-a-mês no período de 1989-2010 analisando o seu comportamento no período;
- Relacionar a posição longitudinal do ASAS com diversas variáveis meteorológicas;
- Fazer um estudo de caso comparando os meses de setembro de 1993, quando o ASAS esteve deslocado para leste da sua posição climatológica, e setembro de 2007 quando ele esteve deslocado para oeste;
- Avaliar a variabilidade da posição e da intensidade do ASAS em um cenário futuro de aquecimento global para os cenários A2, A1B e B1 com o modelo ECHAM5.

## **CAPÍTULO 2 DADOS E METODOLOGIA**

### **2.1 Dados**

Neste trabalho foram utilizados dados de reanálise ERA-Interim do ECMWF (Dee et al., 2011) e Reanalysis I do NCEP (Kalnay et al., 1996) para os dados do passado. Para os dados do clima futuro foram utilizadas projeções do modelo ECHAM5/MPI do instituto Max-Planck (Roechner et al. 2003 e Marsland et al. 2003).

A reanálise ERA-Interim do ECMWF (Dee et al., 2011) possui resolução horizontal de  $1,5^\circ \times 1,5^\circ$  de latitude por longitude, temporal de 6h (00, 06, 12 e 18 UTC), compreende um período de 1979 a 2012 e possui uma gama de variáveis meteorológicas em diversos níveis verticais. O projeto ERA-Interim iniciou-se em 2006 para promover uma ponte entre as reanálises anteriores do ECMWF, a ERA-40 (1957-2002) e a nova geração dos dados ECMWF (<http://data-portal.ecmwf.int/data/d/>). O principal objetivo deste projeto foi melhorar alguns aspectos essenciais do ERA-40, tais como a representação do ciclo hidrológico, a qualidade da circulação atmosférica e o processamento de dados de medição de diversas estações meteorológicas (Dee et al., 2011).

Os dados Reanalysis I do NCEP (Kalnay 1996) possuem uma resolução espacial de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  de latitude por longitude, temporal de 6h (00, 06, 12 e 18 UTC) para 17 níveis verticais (1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20 e 10 hPa), compreende um período de dados de 1948 até o presente, que podem ser encontrados no site: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>.

Os dados de projeções do clima futuro foram obtidos do modelo ECHAM5/MPI. Foram disponibilizados nos computadores do GrEC/USP seis projeções do clima futuro para os cenários A1B, A2 e B1 para o período de 2000 até 2100. Esse modelo é descrito em detalhes por Roechner et al. (2003) e Marsland et al. (2003). Tal modelo possui uma grade Gaussiana de  $192 \times 96$  pontos de grade para latitude e longitude para a atmosfera. Dessa forma, a resolução horizontal é de  $1,875^\circ \times 1,875^\circ$ , o que corresponde a uma grade com 200 km de distância do Equador. O ECHAM5/MPI é a quinta geração do modelo de circulação geral espectral de previsão do ECMWF com um pacote de parametrizações desenvolvido em Hamburgo pelo instituto Max-Planck, daí vem o nome usado no modelo EC (ECMWF) + HAM (Hamburgo). O ECHAM5/MPI é um modelo acoplado oceano-atmosfera, a sua parte atmosférica inclui um

ciclo hidrológico com cinco níveis verticais para o transporte de calor e um para o balanço de água. A parte oceânica dele possui um modo que representa a componente de gelo.

O IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), a partir do seu quarto relatório de avaliação (*Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, "AR4"*), publicou quatro cenários futuros chamados de cenários RECE (Relatório Especial sobre Cenários de Emissões): A1, A2, B1 e B2 que procuram descrever diferentes cenários de emissões de gases de efeito estufa e aerossóis considerando: população, economia, tecnologia, energia, uso de solo e agricultura.

O cenário A1 descreve um mundo de crescimento econômico muito rápido, com população mundial atingindo um pico em meados do século XXI e declinando em seguida, e a rápida introdução de tecnologias novas mais eficientes. As principais questões subjacentes são a convergência entre as regiões, a capacitação e o aumento das interações culturais e sociais, com a redução substancial das diferenças regionais na renda *per capita*. A família de cenários A1 se desdobra em três grupos que descrevem direções alternativas da mudança tecnológica: intensiva no uso de combustíveis fósseis (A1F1), fontes energéticas não-fósseis (A1T) ou o equilíbrio entre todas as fontes (A1B), equilíbrio este definido como não depender excessivamente de uma determinada fonte de energia, supondo-se que taxas similares de aperfeiçoamento se apliquem a todas as tecnologias de oferta de energia e uso final.

O cenário A2 descreve um mundo heterogêneo. O tema subjacente é a autossuficiência e a preservação das identidades locais. Os padrões de fertilidade entre as regiões convergem muito lentamente, o que acarreta um aumento crescente da população. O desenvolvimento econômico é orientado primeiramente para a região de crescimento econômico *per capita* e as mudanças tecnológicas são mais fragmentadas e mais lentas.

O cenário B1 descreve um mundo convergente com a mesma população global, atinge o pico em meados do século XXI e declina em seguida, como o cenário A1, mas com uma mudança rápida nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informação, com reduções da intensidade material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes em relação ao uso dos recursos. A ênfase está nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental.

O cenário B2 descreve um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo em que a população global

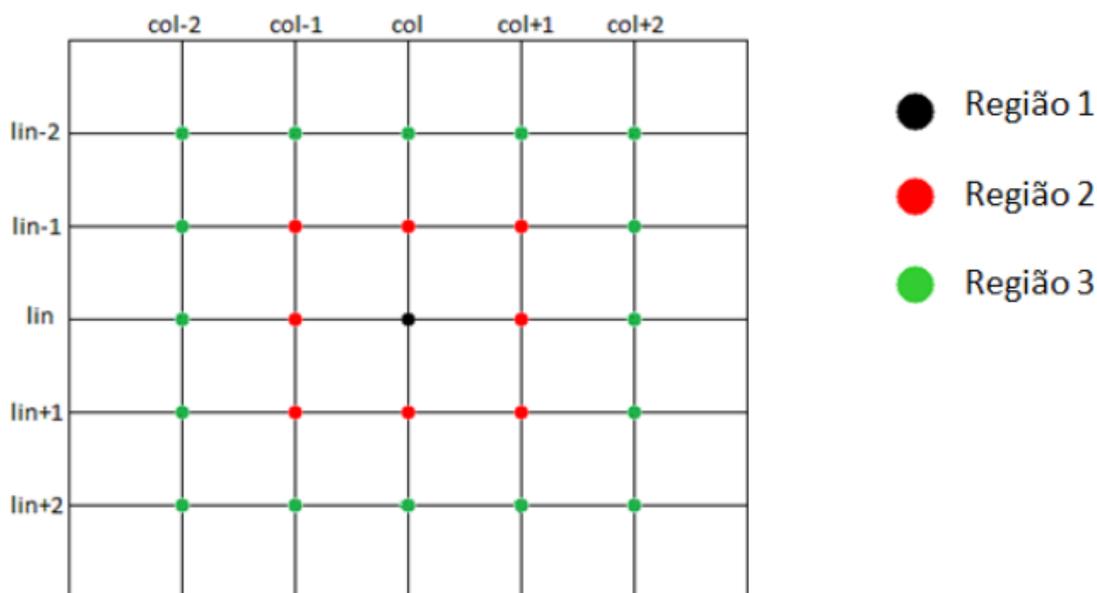
aumenta continuamente a uma taxa inferior a A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversa do que nos cenários A1 e B1. O cenário também está orientado para a proteção ambiental e a igualdade social, mas seu foco são os níveis locais e regionais (adaptado de *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*).

Neste trabalho, todas as análises do período passado foram realizadas com os dados da ERA-Interim do ECMWF por conta da melhor resolução horizontal de 1,5° x 1,5°, importante para o rastreamento do ASAS. Os dados Reanalysis 1 do NCEP foram usados apenas para verificar a consistência do método de rastreamento do ASAS e poder ter algum indicativo do ASAS para períodos anteriores a 1989. Para o futuro foram utilizadas as projeções do ECHAM5/MPI para duas simulações run\_1 e run\_3 e para três dos cenários descritos acima, A1B, A2 e B1.

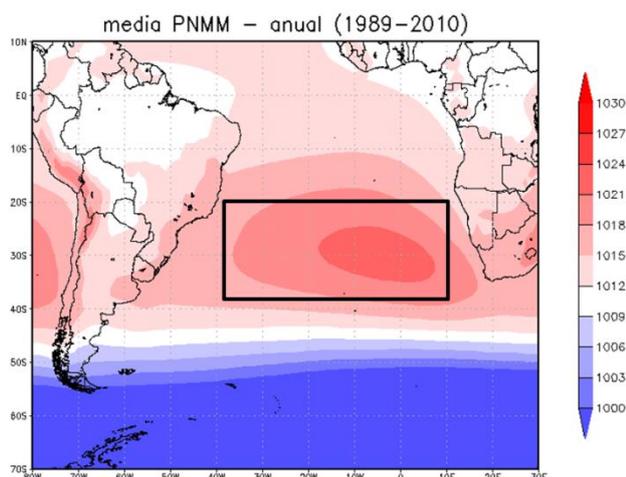
## 2.2 Metodologia do esquema numérico de rastreamento do ASAS

Há algumas décadas, quando não existiam computadores, o processo de identificação de centros de máxima e mínima pressão era feito manualmente através da análise de inúmeras cartas sinóticas. Essa era uma tarefa lenta e passível de erros. Com o avanço tecnológico nas últimas décadas, sobretudo na área da informática, possibilitou-se o desenvolvimento de esquemas numéricos para rastrear centros de ciclones e anticiclones (Ito, 1999).

O algoritmo de rastreamento utilizado neste trabalho é baseado na técnica do vizinho mais próximo, similar aos propostos por Lambert (1988), Murray e Simmonds (1991), Sinclair (1994) e Sugahara (2000). Ele foi desenvolvido e cedido pela Dra. Michelle Reboita, professora do Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá. Esse esquema numérico é escrito em linguagem Matlab e considera vinte e quatro vizinhos à volta de um ponto de grade, conforme a **Figura 2.1**. A malha de 25 pontos se desloca sobre todos os pontos de grade dos dados entre a região de 38°S – 20°S e 38°W – 10°E (conforme a **Figura 2.2**), isto é, o ponto central vai se deslocando para que a varredura ao redor seja realizada.



**Figura 2.1** – Representação do esquema numérico utilizado neste trabalho.



**Figura 2.2** – Área considerada para rastreamento do ASAS. Área compreendida entre 38°S – 20°S e 38°W – 10°E.

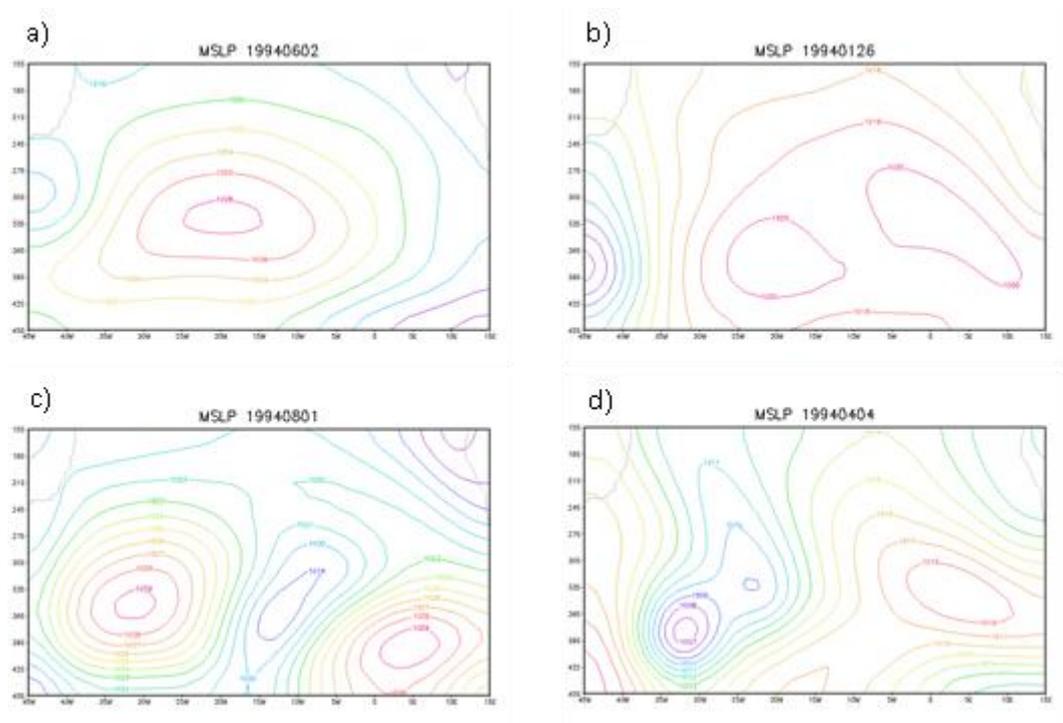
Após o esquema numérico varrer todos os pontos de dentro da área restrita entre 38°S – 20°S e 38°W – 10°E, define-se o centro de máxima pressão quando forem satisfeitas as seguintes condições:

- A PNMM dentro da Região 1 tem que ser maior ou igual a PNMM dentro da Região 2;
- A PNMM dentro da Região 1 tem que ser maior do que a pressão na Região 3.

Esse esquema foi executado com os dados da ERA-Interim do ECMWF, da Reanalysis 1 do NCEP e dos simulados pelo ECHAM5/MPI. Como cada uma das fontes de dados possui uma resolução horizontal distinta, foi adotada como base a grade do ERA-Interim (1,5° x 1,5°). Para as outras fontes de dados foi feita uma interpolação bi-linear horizontal com a função *regrid* do software *GRADS* para todas as fontes de dados possuírem o mesmo número de pontos de grade e o mesmo espaçamento horizontal entre pontos.

Após integrar o algoritmo para os dados mensais das três fontes citadas acima no domínio 38°S – 20°S e 38°W – 10°E, os dados de saída obtidos pelo algoritmo são: a latitude, a longitude e a pressão máxima do centro do ASAS para cada mês. Com isso foi obtida uma série histórica mensal da posição e da intensidade do centro do ASAS.

Ito (1999) utilizou um procedimento parecido para rastreamento de anticiclones, onde foram consideradas médias diárias com dados de entrada do algoritmo. Foi observado que em muitos casos a passagem de sistemas transientes com centro de pressão maior do que o próprio ASAS, os anticiclones migratórios. Por conta disso, o algoritmo considera o centro máximo de pressão do sistema transiente e não do ASAS. A **Figura 2.3** contém exemplos distintos de média de PNMM diária. Por exemplo, no caso da **Figura 2.3.c** o ASAS está fragmentado em dois sistemas e, portanto, não há a certeza de qual parte corresponde a sua verdadeira posição. Considerando médias mensais como dados de entrada no algoritmo, os sistemas transientes somem, restando apenas um centro de alta pressão do ASAS.



**Figura 2.3** - Diferentes configurações do ASAS para dias específicos.

### 2.3 Metodologia da correlação do centro do ASAS para diversas variáveis meteorológicas

Para fazer a correlação entre duas séries temporais distintas, foi utilizado o método de correlação de Pearson (**equação 2.1**). O coeficiente de correlação de Pearson,  $r$ , é a divisão entre a covariância entre duas variáveis distintas divididas pela multiplicação da variância de cada uma das variáveis.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})}} = \frac{cov(X,Y)}{\sqrt{var(X) \cdot var(Y)}} \quad (2.1)$$

onde,

$r$  é o coeficiente de correlação;

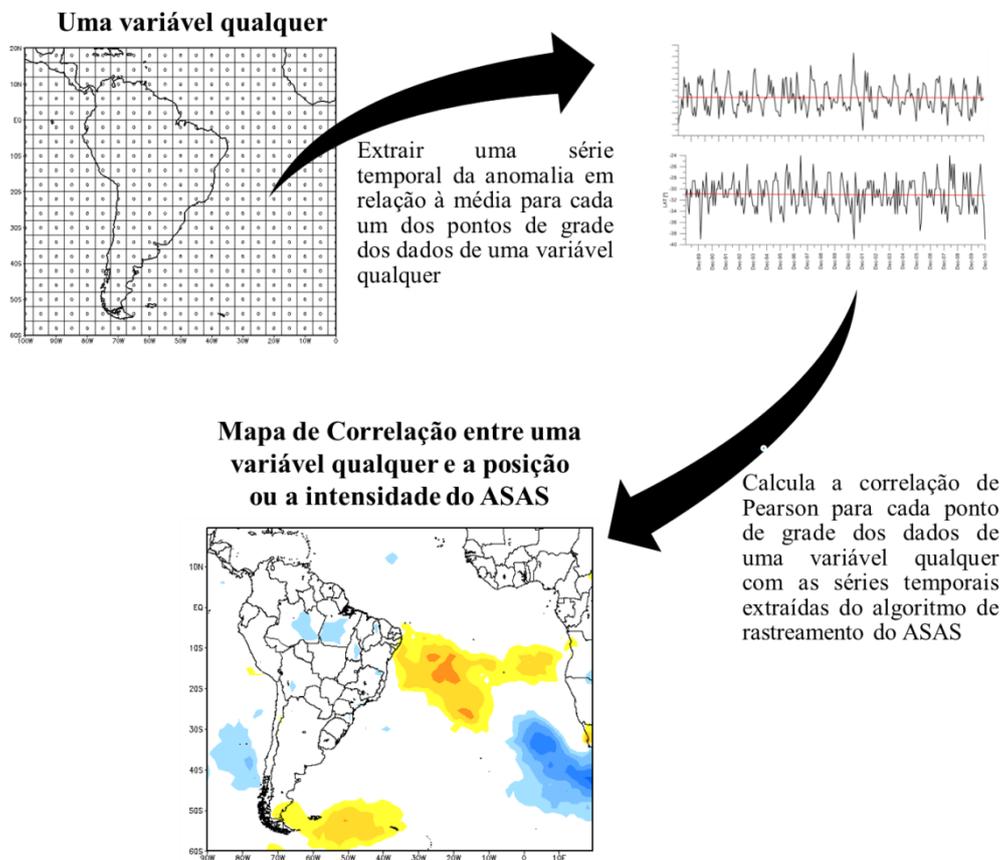
$N$  é o tamanho da série;

$X$  e  $Y$  são duas séries distintas,

A análise de correlação, como o próprio nome já diz, indica a relação entre duas variáveis lineares cujos valores sempre são entre 1 e -1. O sinal indica a direção, se a correlação é positiva ou negativa, e o tamanho da variável indica a força da correlação. Em outras palavras, correlação positiva indica que duas variáveis estão aumentando ou decrescendo concomitantemente, enquanto que correlação negativa indica que uma variável cresce enquanto outra diminui.

Para saber se uma correlação é significativa estatisticamente, isto é, se o resultado não foi um mero acaso estatístico, foi utilizado o teste *t-student* (**equação 2.2**). Considerando-se uma confiança de 95% ( $t_{0,95}$ ) para 22 anos de dados (1989-2010), tem-se uma amostra de tamanho 264 e 262 graus de liberdade. Para essa amostra observa-se que valores de correlação maiores do que 0,10 já são considerados significantes estatisticamente.

$$t_{0,95} = 1,645 = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2.2)$$



**Figura 2.4** – Metodologia utilizada para calcular a correlação de diversas variáveis meteorológicas com a posição e a intensidade do ASAS.

A correlação entre as médias mensais da posição latitudinal, da posição longitudinal e da pressão máxima do centro do ASAS com diversas variáveis foi feita de acordo com o esquema apresentado na **Figura 2.4**.

Um programa desenvolvido na plataforma do *GRADS* calcula a média mensal para os dados do ERA-Interim no período de 1989-2010 para uma determinada variável em cada um dos pontos de grade. Depois de calculada a média, ele escreve, em um arquivo externo no formato *txt*, a série temporal da anomalia mensal dessa variável para cada um dos pontos de grade.

A partir de séries históricas mensais da anomalia média de uma variável e as séries obtidas pelo rastreamento do ASAS, um programa em linguagem FORTRAN 90 calcula, para

cada ponto de grade, a correlação de Pearson entre a variação da posição e da intensidade do ASAS com a anomalia mensal de uma determinada variável meteorológica e exporta, como arquivo de saída, uma matriz com a latitude, a longitude e o valor de correlação encontrado para a determinada posição. Dessa forma é obtido um mapa da correlação do ASAS com diversas variáveis meteorológicas que contêm, em cada ponto de grade, o valor de correlação obtido entre a anomalia de uma determinada variável com a posição latitudinal, posição longitudinal e intensidade do ASAS.

## 2.4 Metodologia para quantificar o grau de acerto do modelo ECHAM5/MPI

Para avaliar a qualidade das projeções do ECHAM5/MPI do ponto de vista da representação do ASAS e do seu rastreamento, foi adotada a seguinte metodologia: existe um período comum entre os dados do ECMWF e do ECHAM5/MPI que é entre 2000-2010. Nesse período de 120 meses foram adotados os dados do ECMWF como dados observados e os do ECHAM5/MPI como dados previstos. O grau de semelhança entre a previsão e a observação foi calculado com os parâmetros REQM (Raiz do Erro Quadrático Médio) e BIAS (Jolliffe e Stenhenson; 2003).

A Raiz do Erro Quadrático Médio, mede a amplitude do erro.

$$REQM = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{previsto(i)} - X_{observado(i)})^2} \quad (2.3)$$

O erro médio mede a direção do erro.

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{previsto(i)} - X_{observado(i)}) \quad (2.4)$$

onde,

$n$  é o número de previsões,

$X_{previsto}(i)$  é a previsão para um determinado  $i$ ,

$X_{observado}(i)$  é a observação para um determinado  $i$ .

A REQM é uma medida de precisão, pois a diferença entre a observação e a previsão é elevada ao quadrado, sendo mais sensível a erros. Essa medida será sempre positiva: o valor zero indica uma previsão perfeita e o seu valor aumenta conforme aumenta a diferença entre valores de previsão e observação.

O BIAS ajuda a avaliar se o modelo superestima (BIAS positivo) ou subestima (BIAS negativo) os valores observados. A remoção do BIAS é um método de correção

estatística que, quando aplicado às previsões, pode aumentar a sua acurácia reduzindo erros (Cardoso et al.,2006).

## RESULTADOS

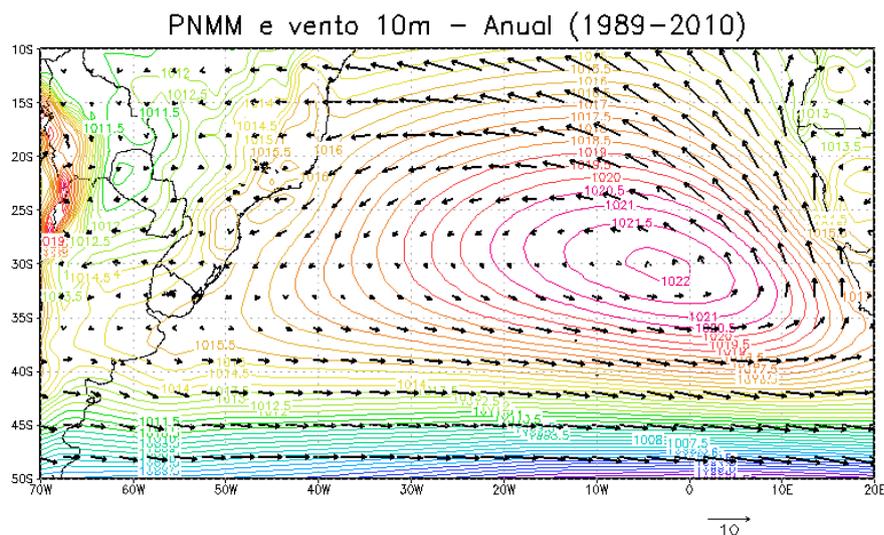
### CAPÍTULO 3 Descrição Climática do ASAS

O ASAS sempre se fez presente em mapas sinóticos de diversos trabalhos disponíveis na literatura. Alguns trabalhos apontam a sua importância no clima do Brasil (Capítulo 1). Até a presente data não há um estudo detalhado sobre a variação sazonal e mensal do ASAS com base nas mais diversas variáveis meteorológicas. Portanto, este capítulo tem o objetivo de fazer uma descrição climática do ASAS sob o ponto de vista de diversas variáveis meteorológicas e diferentes orientações espaciais.

Para compreender melhor a variação interanual do ASAS, foi calculada a climatologia de 22 anos (1989-2010) das variáveis PNMM e vento a 10m dos dados do ERA-Interim do ECMWF. As **Figuras 3.1, 3.2 e 3.3** contêm respectivamente a média anual, as médias sazonais e as médias mensais das variáveis PNMM e vento a 10m. Nota-se na **Figura 3.1** que o centro do anticiclone se situa na latitude próxima de 30°S e na longitude em torno de 5°W. Os ventos médios mais intensos são observados nas porções norte, leste e sul do ASAS, já a oeste do anticiclone são observados ventos médios anuais mais fracos.

Em relação à variação interanual do ASAS, nota-se claramente uma variação mensal tanto na sua posição como na sua intensidade. A alta pressão encontra-se mais fortalecida nos meses de julho e agosto, atingindo valores médios em torno de 1024hPa. Em contrapartida, nos meses de janeiro e fevereiro, o ASAS encontra-se mais enfraquecida, atingindo valores médios mensais em torno de 1020hPa (**Figura 3.3**), o que concorda com o trabalho de Machel et al. (1998). Em relação à variação espacial da alta pressão, observa-se uma oscilação norte-sul ao longo do ano, acompanhando o movimento da ZCIT. Na **Figura 3.2** observa-se que, no inverno austral, o ASAS situa-se mais para o norte, deslocando a ZCIT para o HN. Já no verão austral, a alta se enfraquece e se desloca para o sul, atingindo maiores latitudes. Nos meses de outono e primavera são observadas posições intermediárias e de transição entre o verão e o inverno.

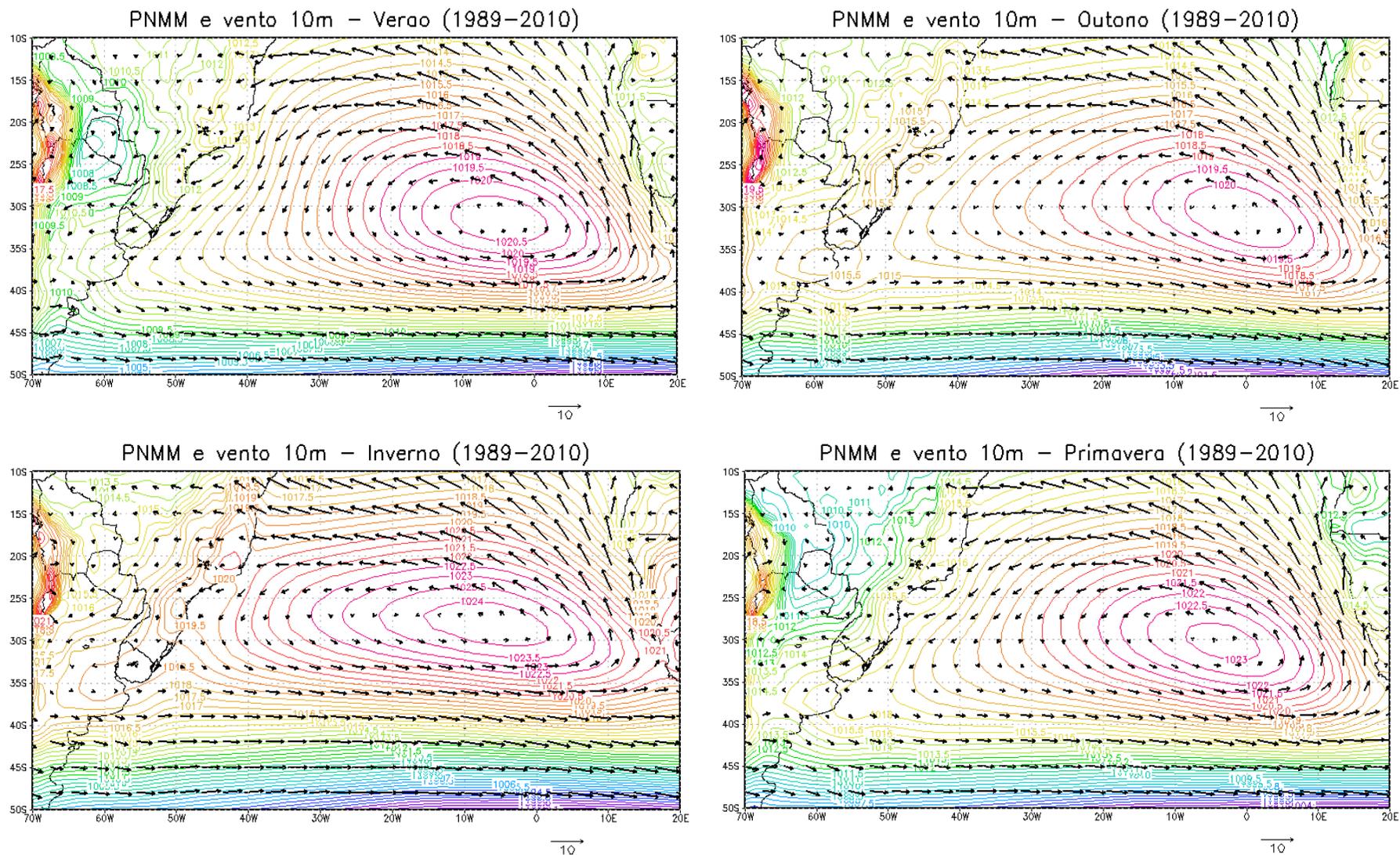
Para complementar a descrição do ASAS e compreender melhor a sua variação interanual, foram calculadas as anomalias sazonais e mensais da PNMM em relação à sua média anual (1989-2010). A **Figura 3.4** contém as anomalias sazonais e a **Figura 3.5**, as anomalias mensais da PNMM.



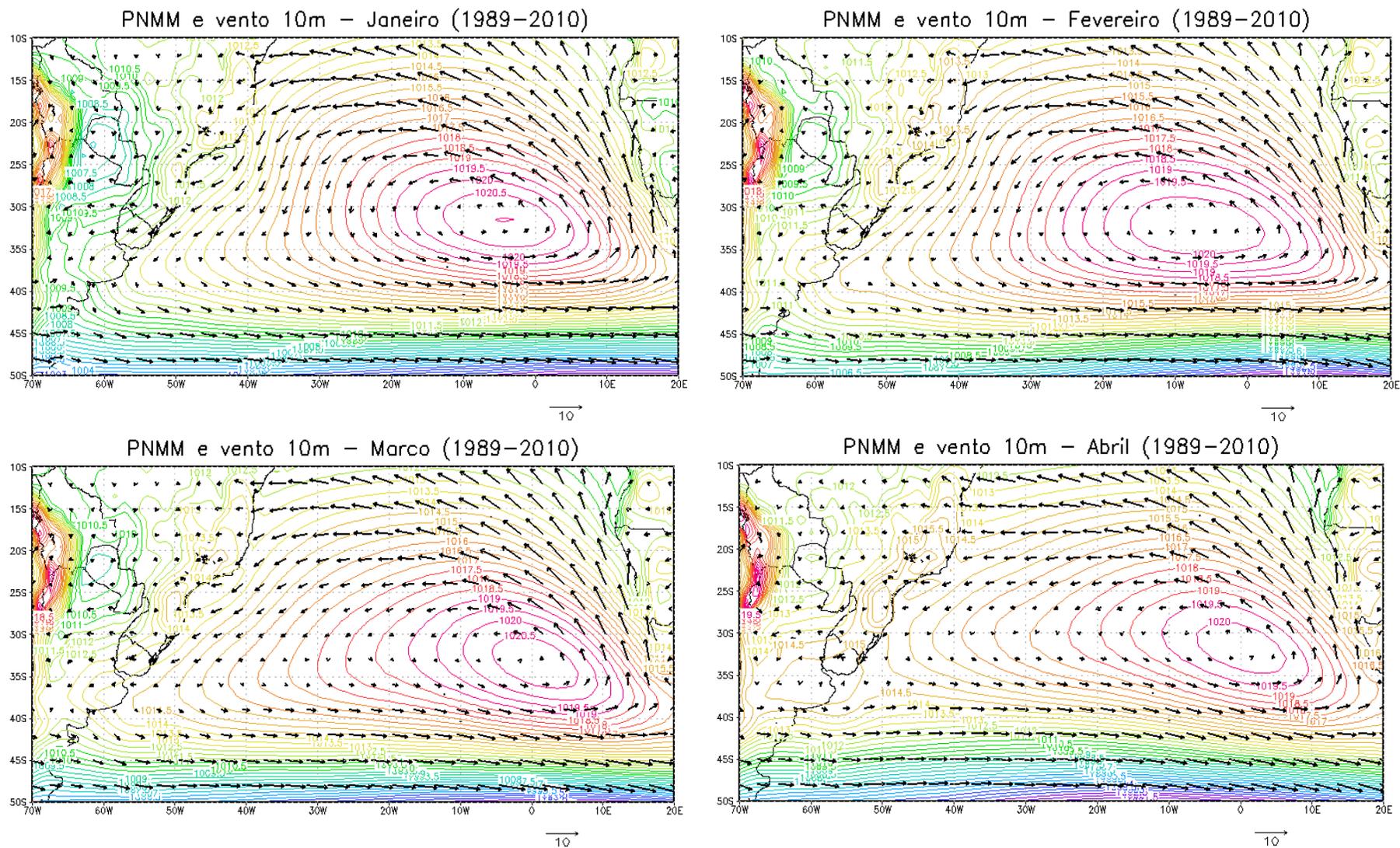
**Figura 3.1** - Campo médio anual para o período de 1989-2010 das variáveis da PNMM [hPa] e do vento a 10 m [m/s].

Ao longo dos meses do ano é observado um aquecimento desigual entre os continentes Sul-Americano e Africano e o OAS. Nos meses de verão do HS, o número de horas de sol por dia é maior do que o número de horas sem sol, fazendo com que o hemisfério como um todo se esquite. Nos continentes Sul-Americano e Africano, esse aquecimento é ainda maior devido a sua capacidade térmica, que é pequena comparada a do OAS. Esse grande aquecimento no interior dos continentes gera movimentos ascendentes, criando baixas pressões conhecidas como baixas térmicas. Durante a parte da tarde, quando a radiação solar é máxima, essas baixas pressões se intensificam e, caso haja umidade na região, formam-se nuvens cumulus profundas até o estágio em que elas viram cumulonimbus gerando grandes acumulados de precipitação. Em contrapartida, nos meses de inverno o padrão se inverte. Os continentes se tornam mais frios do que o oceano, induzindo altas pressões em seu interior.

A **Figura 3.4** contém as anomalias sazonais da PNMM em relação à média anual (1989-2010). Nela é possível observar claramente o fenômeno descrito acima. Nos meses de verão são observadas anomalias negativas de pressão nos continentes sul-americanos e africanos, com valores de -6 hPa. Já no inverno, o padrão é oposto, são observadas anomalias positivas de até +6 hPa no interior dos continentes nas estações de outono e primavera, por caracterizarem-se estações de transição, ocorrem anomalias de PNMM menores do que no verão e inverno, variando em torno de zero hPa. Já no centro do OAS, as anomalias de PNMM são muito menores do que nos continentes, variando no máximo 4 hPa no ano.



**Figura 3.2** – Campos médios sazonais para o período de 1989-2010 das variáveis da PNMM [hPa] e do vento a 10m [m/s].



**Figura 3.3** – Campos médios mensais para o período de 1989-2010 das variáveis da PNMM [hPa] e do vento a 10m [m/s].

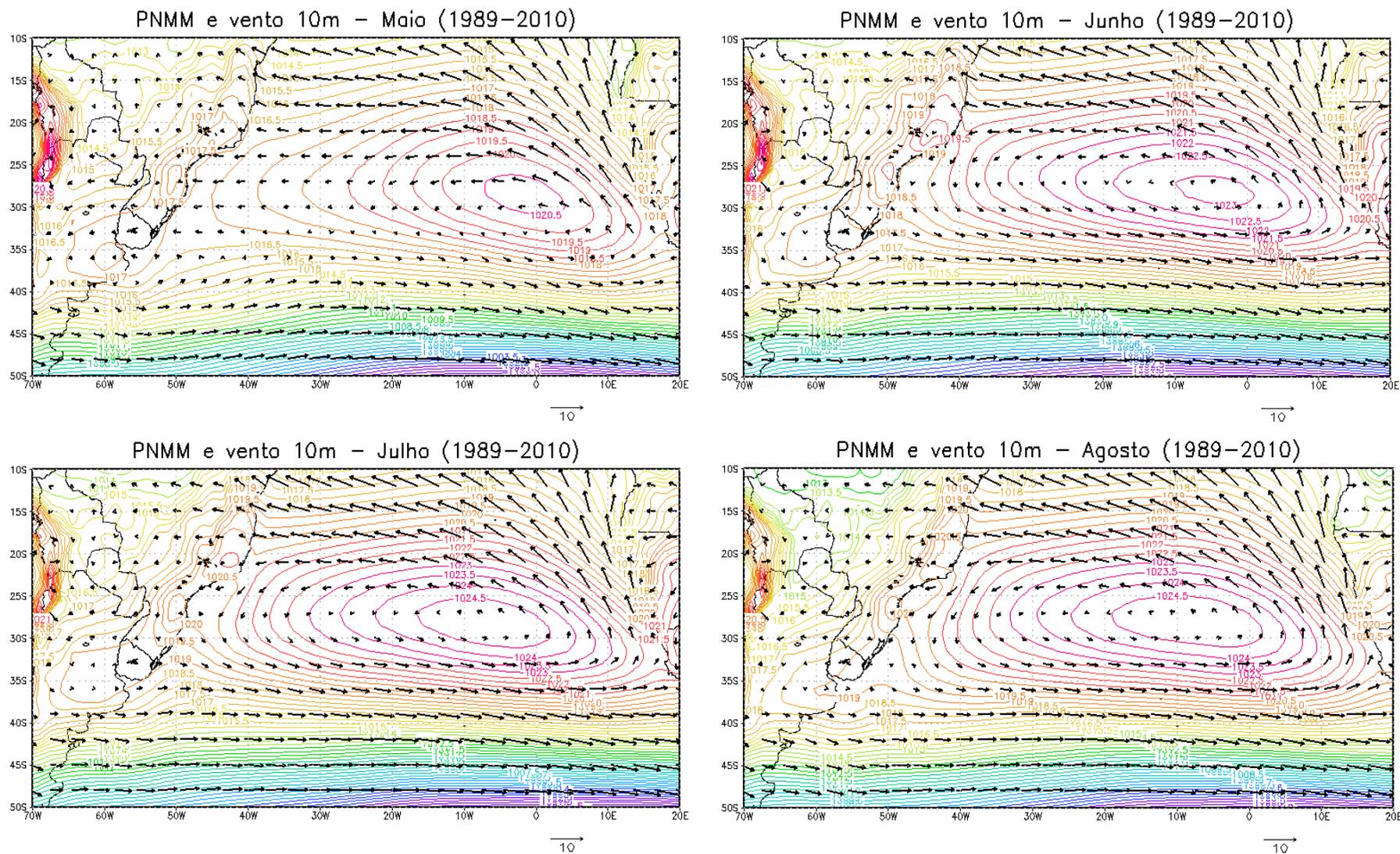
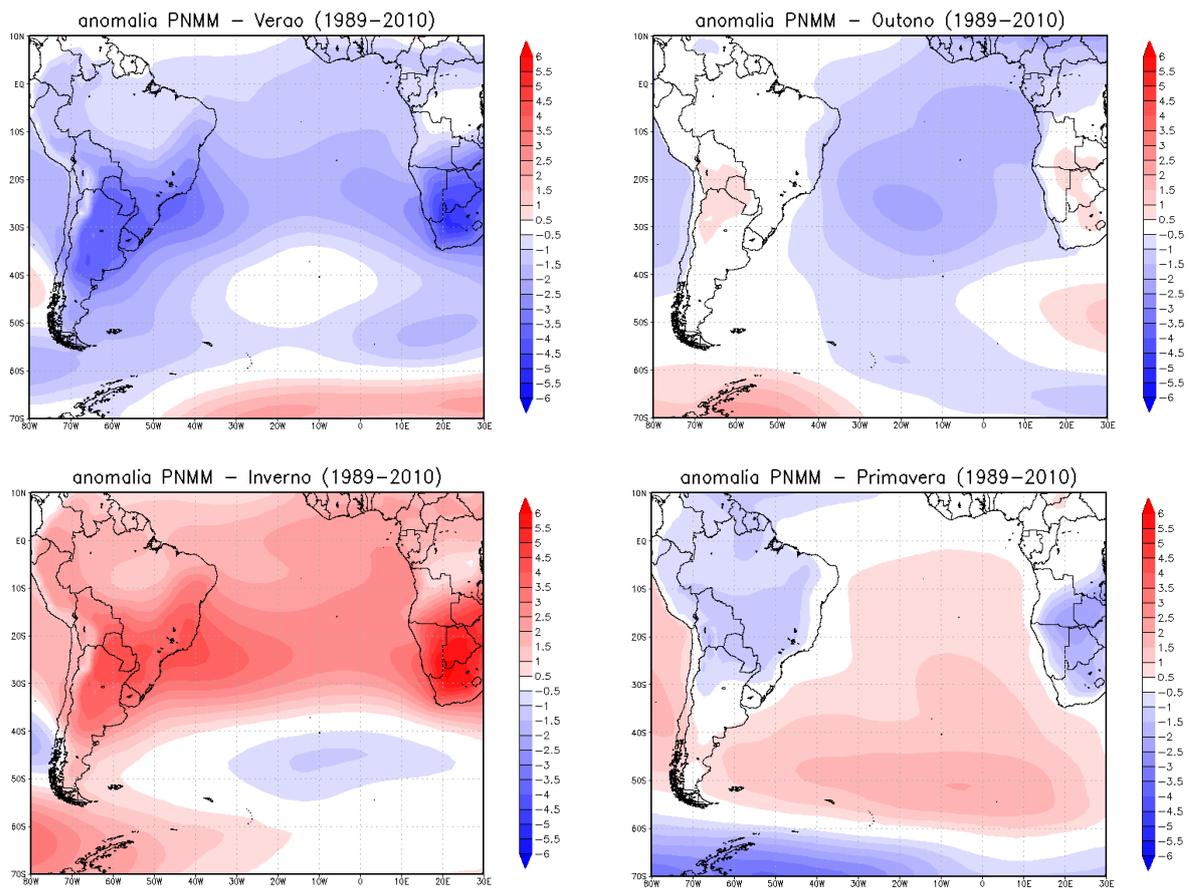


Figura 3.3 – Continuação.





**Figura 3.4** – Anomalia sazonal da PNMM [hPa] em relação à média anual (1989-2010).

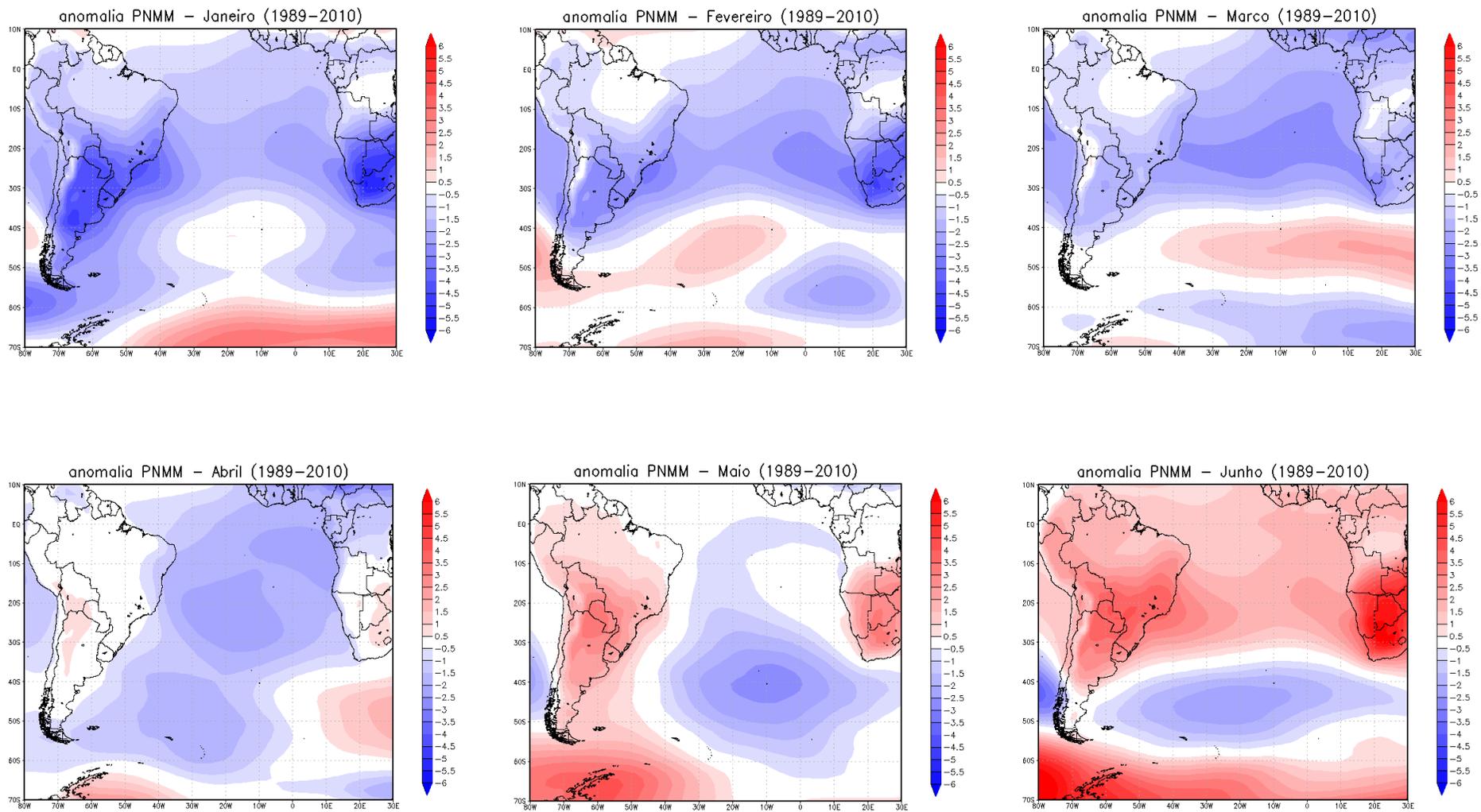


Figura 3.5 - Anomalia mensal da PNMM [hPa] em relação à média anual (1989-2010).

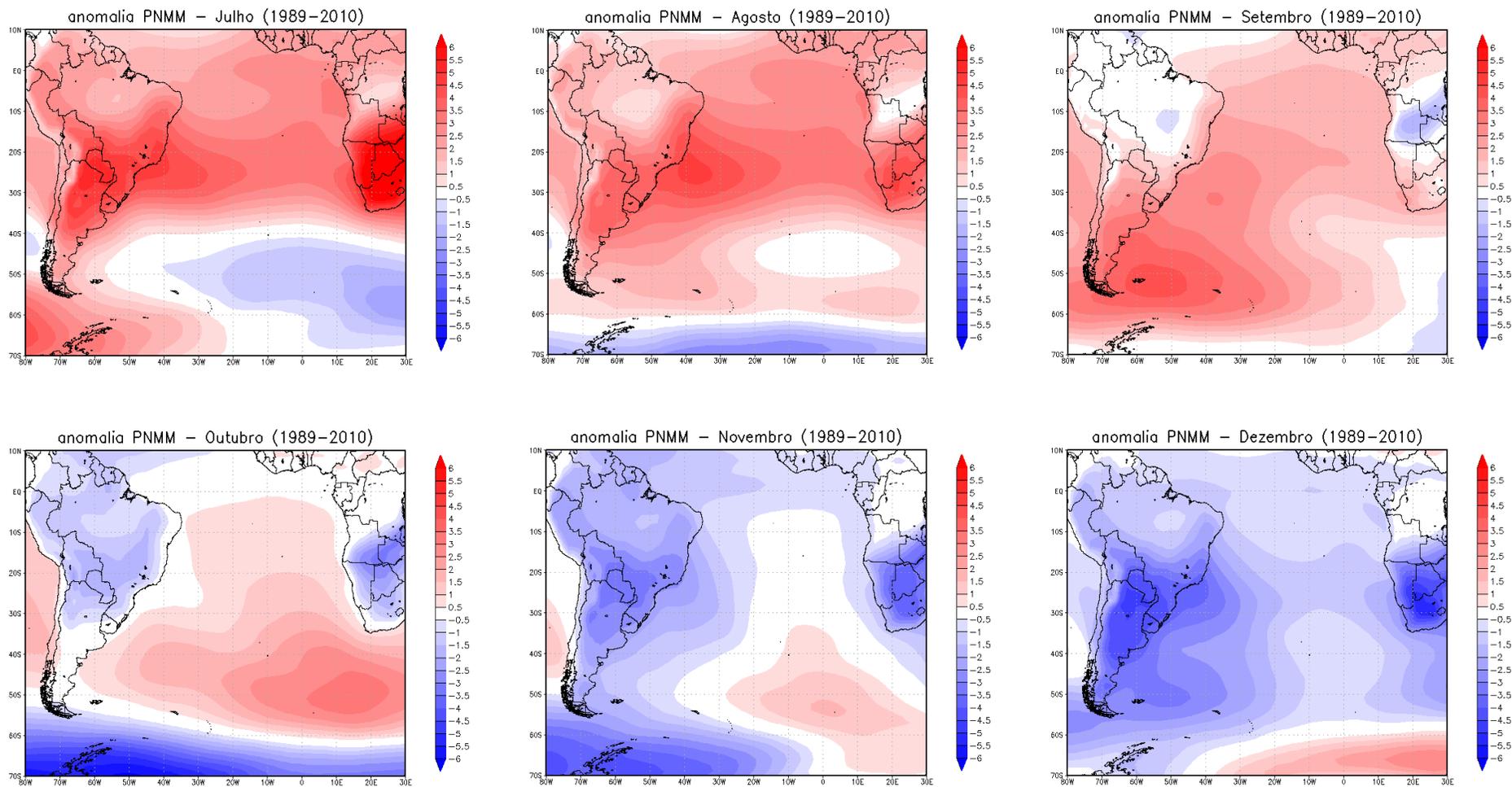
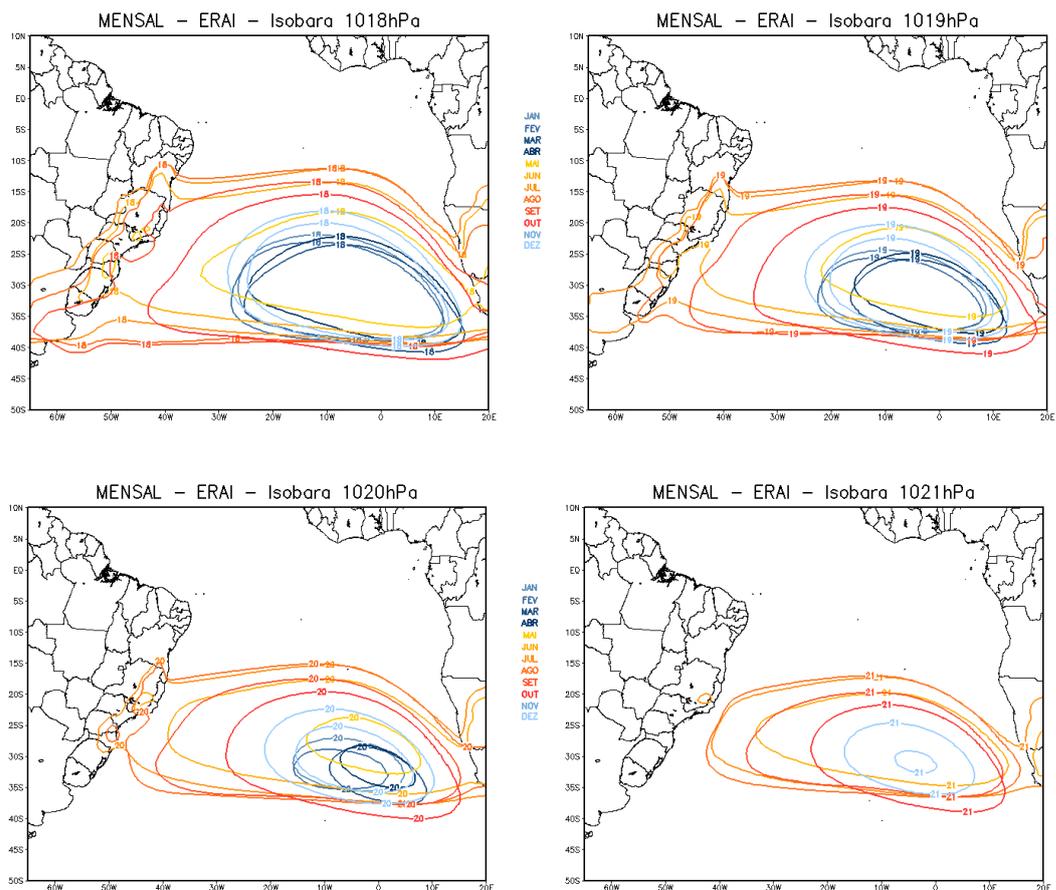


Figura 3.5 – Continuação.

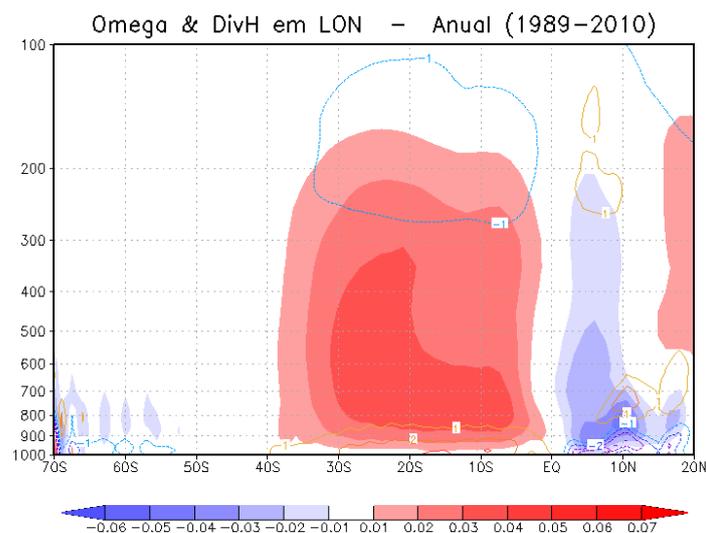


**Figura 3.6** – Médias mensais entre o período de 1989-2010 da PNMM para diferentes isóbaras: (a) 1018hPa; (b) 1019hPa; (c) 1020hPa; (d) 1021hPa.

A **Figura 3.6** apresenta uma maneira diferente de analisar o ASAS. Nela é fixado um valor de isóbara, como, por exemplo, 1018 hPa, e para cada um dos doze meses do ano médios (1989-2010) foi apresentada esta isóbara de 1018 hPa. Com isso é possível analisar especialmente a sazonalidade do ASAS. É observada uma variação espacial do anticiclone ao longo do ano. O ASAS se contrai espacialmente se enfraquecendo entre os meses de novembro e abril; já nos meses de maio a outubro, o anticiclone se intensifica e se expande.

Analisando conjuntamente as **Figuras 3.5 e 3.6**, em grande parte dos meses entre novembro e abril, o ASAS não chega a possuir uma pressão de 1021 hPa. E também se observa que, durante estes seis meses, a sua abrangência espacial praticamente não varia. Em contrapartida, nos meses de maio a outubro, observa-se que o ASAS varia bastante em relação a sua intensidade e abrangência espacial. Esses resultados coincidem com os obtidos na **Figura 3.4**. Nos meses de verão o HS se esquentam e o ASAS se enfraquece. A alta pressão não consegue adentrar nos continentes por conta das baixas térmicas geradas nessa época do ano. Em

contrapartida, nos meses de inverno, todo o HS se esfria e o ASAS naturalmente se intensifica. No interior dos continentes, a temperatura cai bastante, principalmente durante o período da noite. São induzidos movimentos descendentes gerando altas pressões, e, com isso, o ASAS adentra nos continentes Sul-Americano e Africano, expandindo-se espacialmente. Nesse período é muito comum observarem-se dias em que a atmosfera fica estável e sem nuvens. Com essa configuração, a poluição emitida nos grandes centros urbanos não consegue dissipar-se e a concentração de poluentes na atmosfera atinge os maiores valores do ano (Bastos e Ferreira (2000), p. 612). Outro fenômeno bastante comum com essa configuração atmosférica é a formação de geadas. Com a atmosfera estável e sem nuvens, existe uma grande perda radioativa durante a noite e poucas movimentações de ar para misturar o ar nas diferentes camadas da atmosfera. Com isso as regiões próximas ao solo se esfriam bastante até passar de  $0^{\circ}$ , gerando o fenômeno da geada. Esse fenômeno é bastante nocivo às plantas e chega a devastar plantações inteiras.

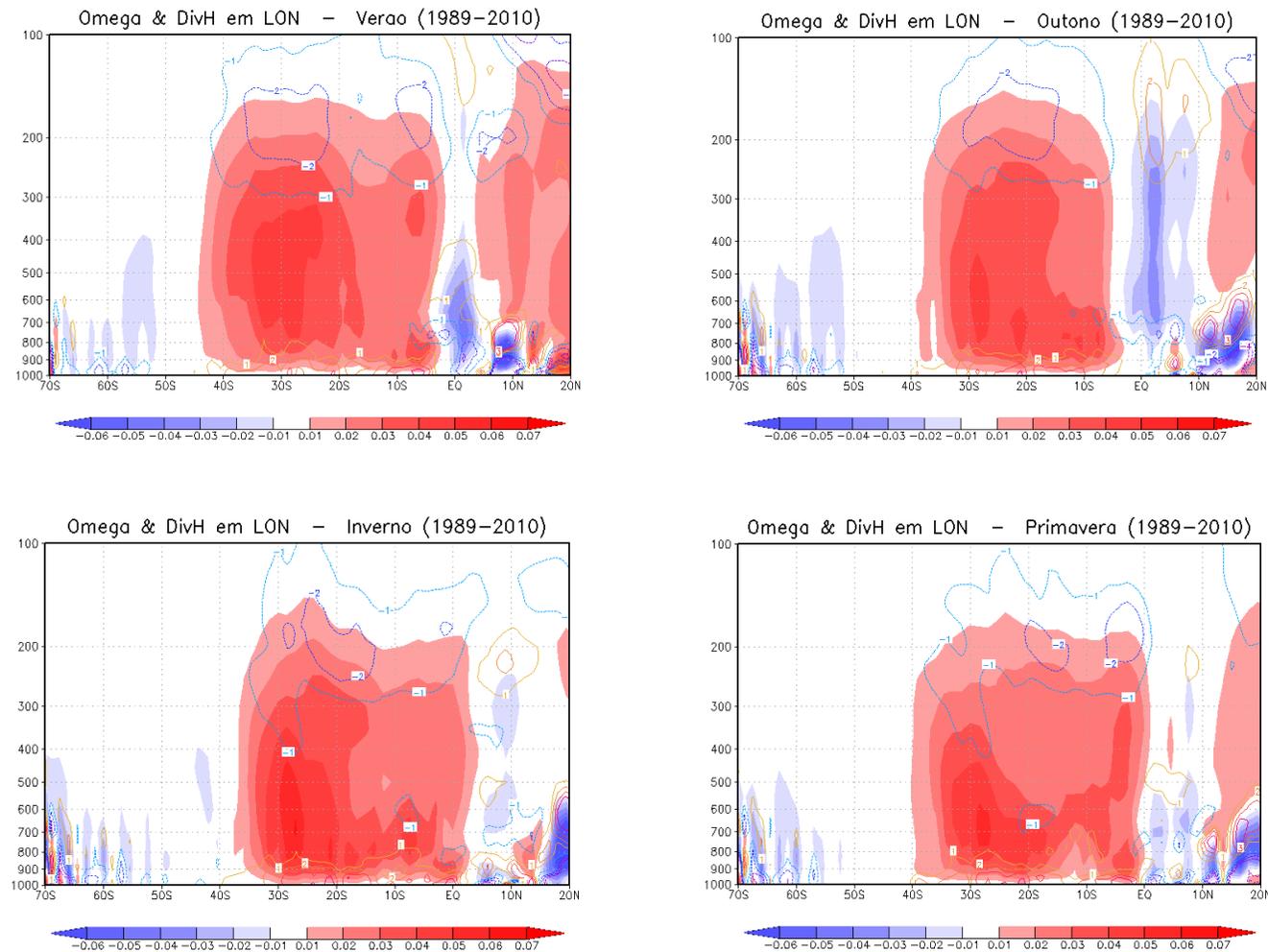


**Figura 3.7** – Perfil vertical médio de  $\omega$  [Pa/s] (em sombreado) e divergência horizontal [m/s] (em linhas contínuas) para a média anual de 1989-2010. Corte latitudinal para a média longitudinal entre  $20^{\circ}\text{W}$  e  $10^{\circ}\text{E}$

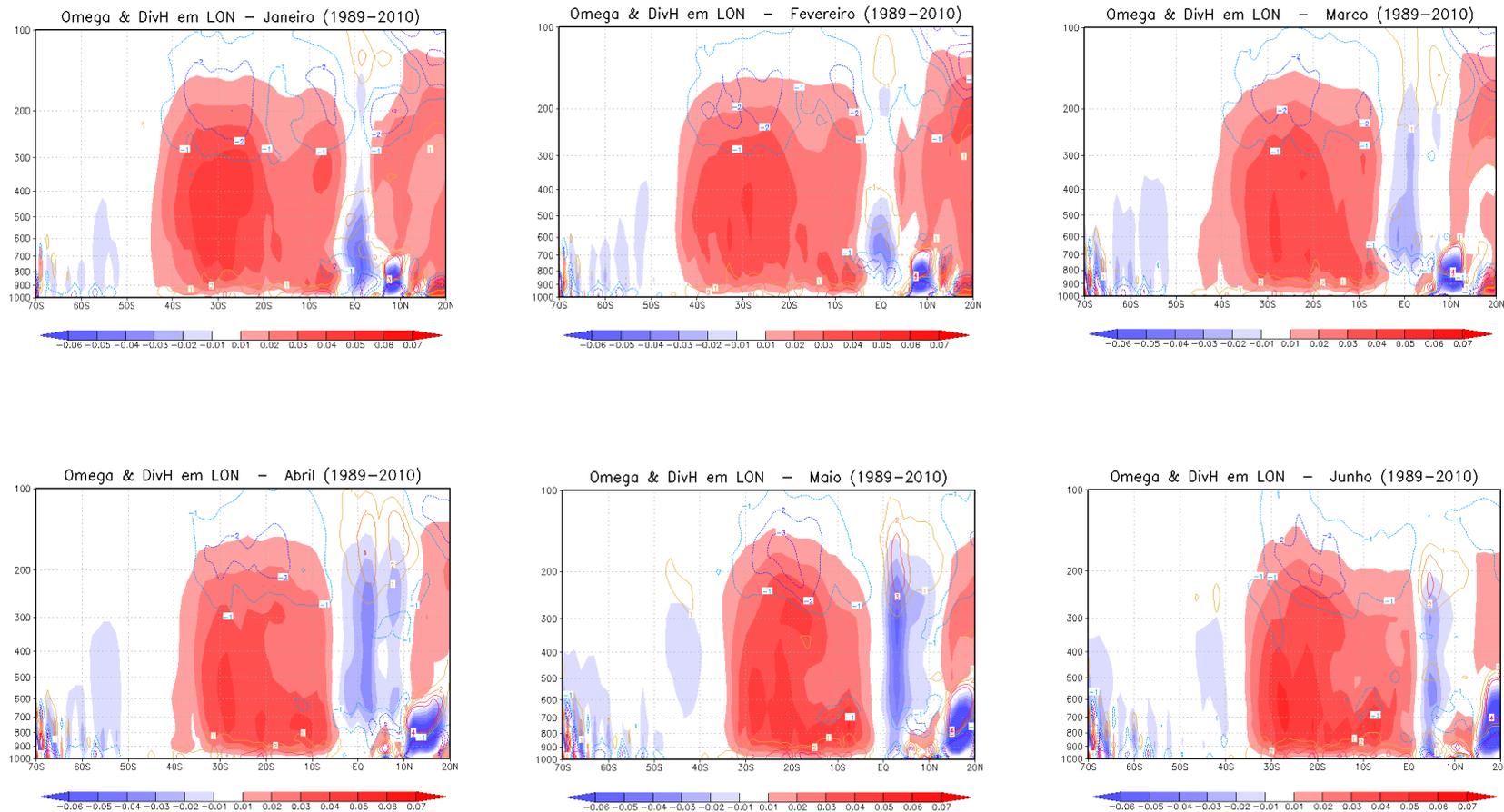
A **Figura 3.7** contém um corte latitudinal da média longitudinal entre  $20^{\circ}\text{W}$  e  $10^{\circ}\text{E}$  das variáveis  $\omega$  e divergência horizontal do vento para o período de 1989-2010. Observa-se que na região entre  $0^{\circ}\text{S}$  e  $40^{\circ}\text{S}$  existe  $\omega$  positivo (movimentos descendentes), convergência do vento horizontal em altos níveis e divergência horizontal em baixos níveis. Já entre  $0^{\circ}\text{N}$  e  $10^{\circ}\text{N}$  o padrão é oposto, são observados movimentos ascendentes com convergência dos ventos alísios em baixos níveis e divergência horizontal em altos níveis. Essa

configuração representa a circulação regional da célula de Hadley e mostra dinamicamente o comportamento do ASAS e da ZCIT. Próximo do equador, são gerados grandes movimentos ascendentes e, por conservação de massa, são gerados movimentos descendentes na região entre 40°S e 0°S, faixa de atuação do ASAS.

A **Figura 3.8** contém o mesmo corte longitudinal, mas dividido em médias sazonais para o período de 1989-2010, e a **Figura 3.9**, as médias mensais. Nessas figuras é possível observar o ciclo anual e a variação do ASAS e da ZCIT. O ASAS encontra-se mais fortalecido nos meses de inverno, junho, julho e agosto, com valores de 0,07Pa/s, e o anticiclone, mais enfraquecido nos meses de verão, janeiro e fevereiro, com valores de ômega médio em torno de 0,07Pa/s. Em relação à variação sazonal, os resultados coincidem com o trabalho de Hastenrath e Heller (1977). Nos meses de verão, dezembro, janeiro e fevereiro, a ZCIT se encontra mais ao sul, em torno de 1°N deslocando o ASAS para sul também. Já nos meses de inverno, junho, julho e agosto, a ZCIT se encontra mais a norte, em torno de 10°N e o ASAS também se encontra deslocado para norte.



**Figura 3.8** – Perfil vertical médio de  $\omega$  [Pa/s] (em sombreado) e divergência horizontal [m/s] (em linhas contínuas) para as médias sazonais de 1989-2010. Corte latitudinal para a média longitudinal entre 20°W e 10°E



**Figura 3.9** – Perfil vertical médio de  $\omega$  [Pa/s] (em sombreado) e divergência horizontal [m/s] (em linhas contínuas) para as médias mensais de 1989-2010. Corte latitudinal para a média longitudinal entre 20°W e 10°E

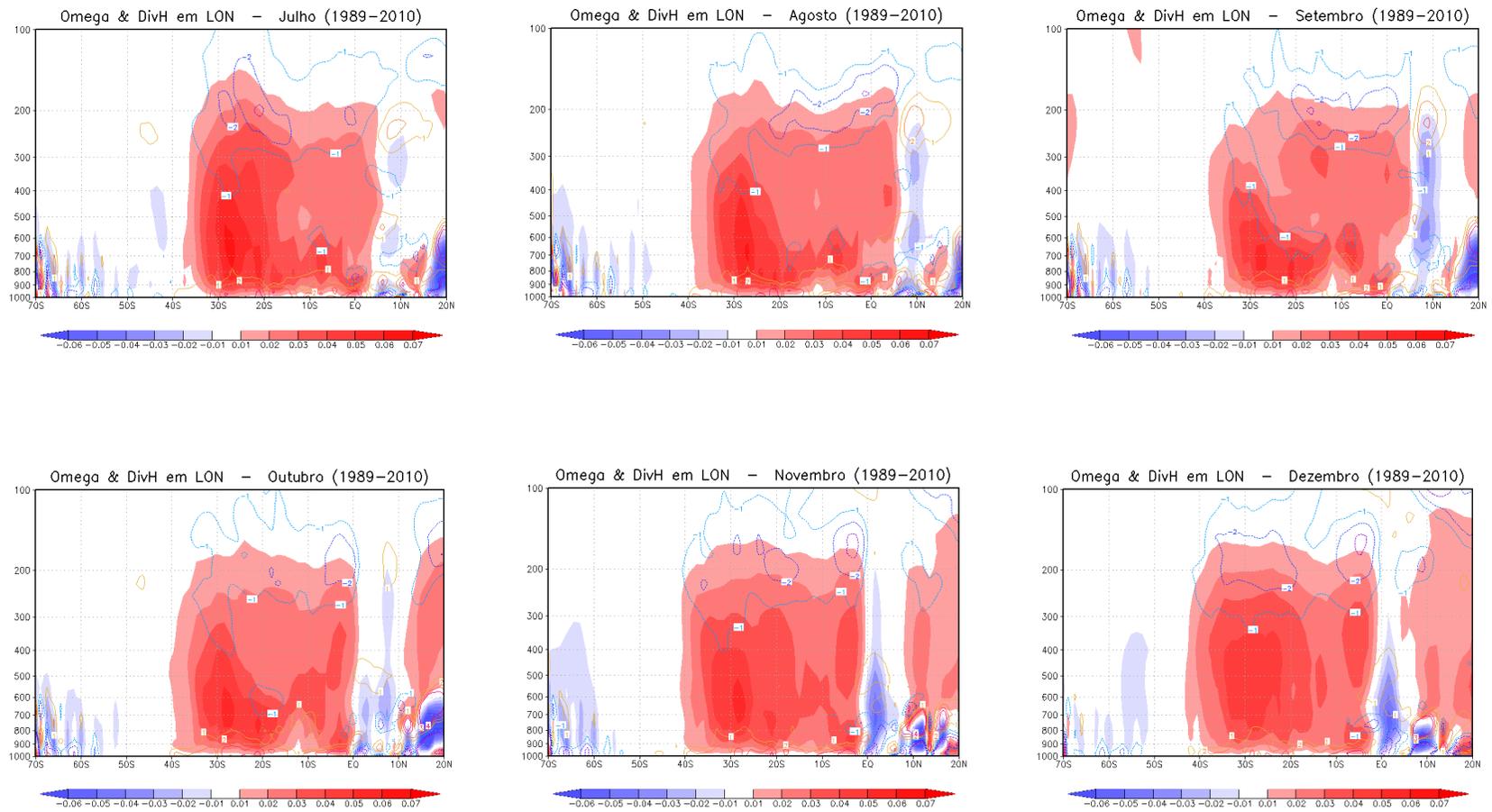
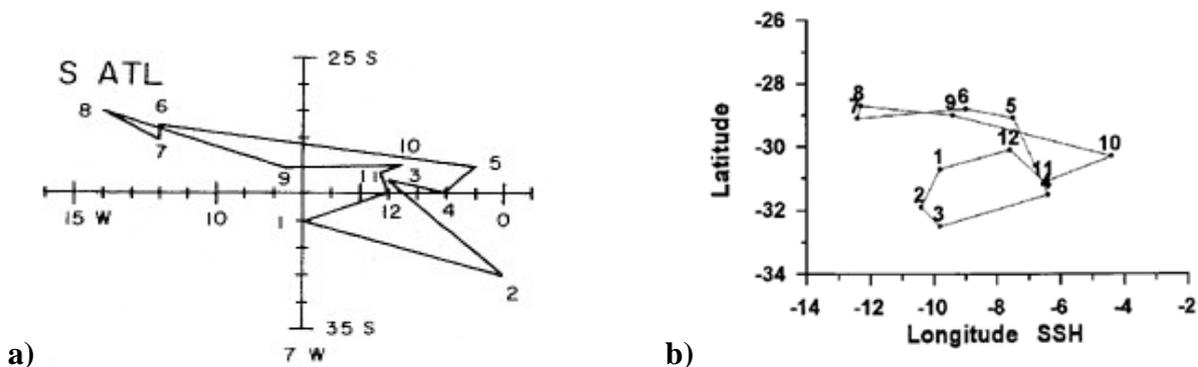


Figura 3.9 – Continuação

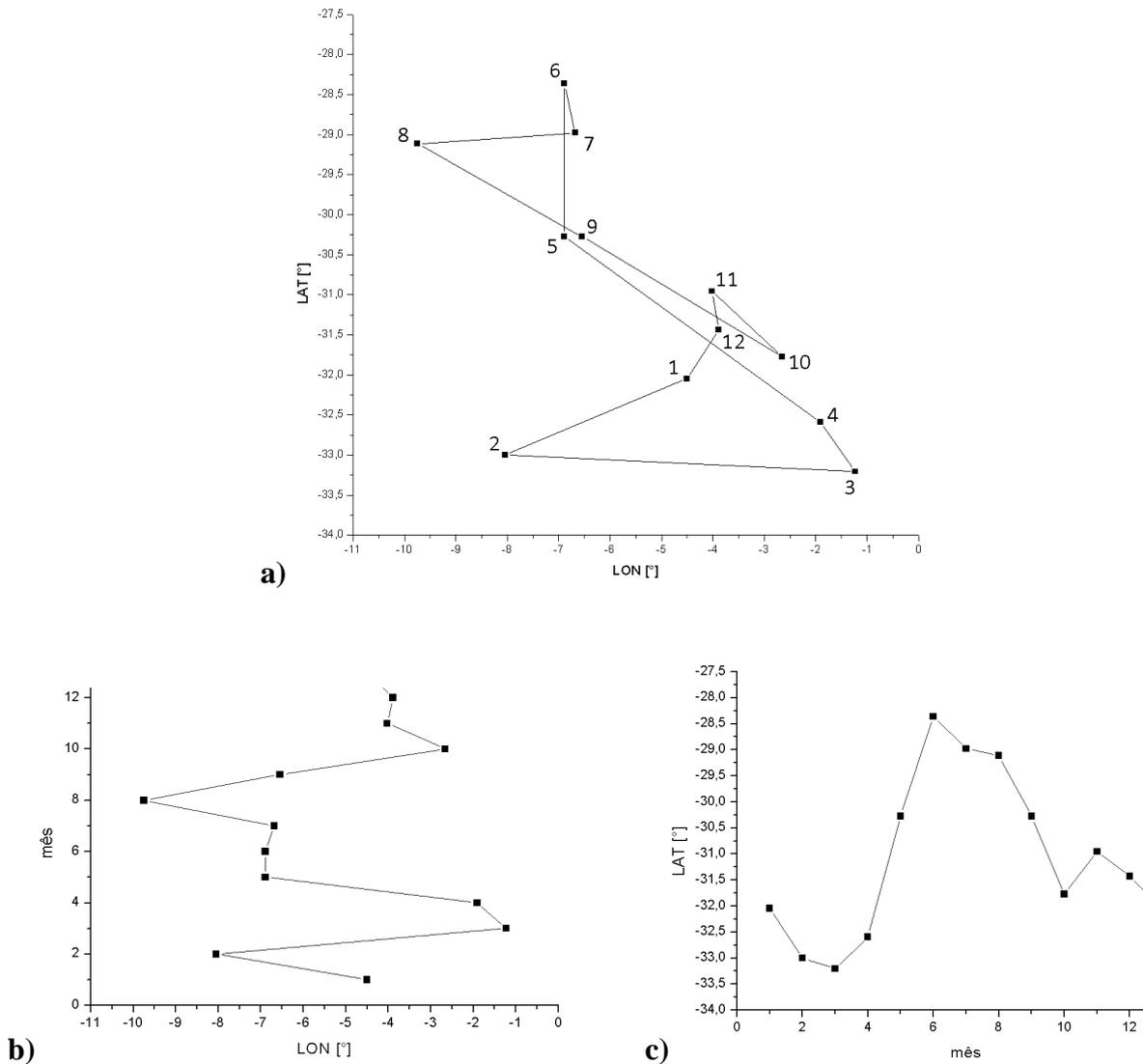
## CAPÍTULO 4 – Rastreamento do ASAS

Hastenrath (1985) e posteriormente Machel et al (1998) rastrearam o ASAS através de um método objetivo e fizeram várias análises de variação mensal em latitude e longitude da posição de seus centros e estudaram as características do ciclo anual do ASAS. A **Figura 4.1** contém uma representação espacial média mensal da posição do ASAS encontradas por eles. Hastenrath (1985) considerou cinco anos de dados na sua análise e observou um ciclo anual bem definido orientado noroeste-sudeste. Nos meses de junho, julho e agosto o ASAS esteve mais deslocado a oeste, com centro próximo a  $15^{\circ}\text{W}$ , já no mês de fevereiro, o anticiclone esteve mais a leste, próximo de  $0^{\circ}\text{W}$ . Posteriormente Machel et al (1998) analisou o ASAS com dados médios mensais no período de 1881-1989. Com uma série histórica mais longa, ele encontrou resultados em parte concordantes com os de Hastenrath (1985). Também foi observada uma oscilação noroeste-sudeste do ASAS. Nos meses de julho e agosto, o anticiclone esteve mais a oeste, próximo de  $13^{\circ}\text{W}$ . Em contrapartida, no mês de fevereiro, foram encontrados resultados completamente distintos. Machel et al. (1998) observou que fevereiro foi o terceiro mês em que o ASAS esteve mais deslocado para oeste.



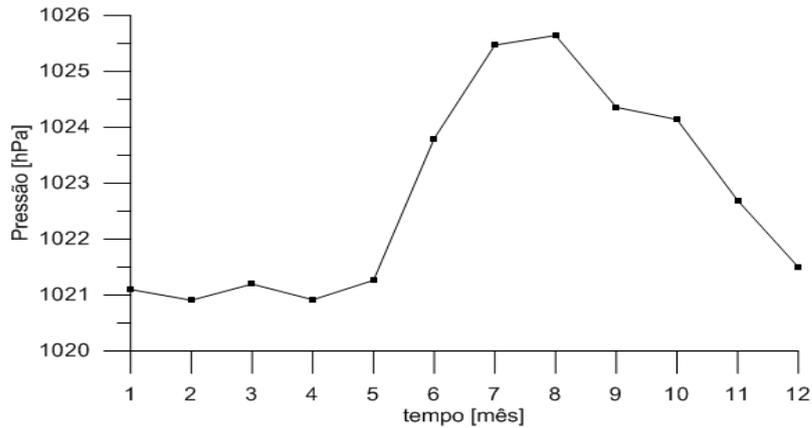
**Figura 4.1** – Representação espacial do ciclo anual do ASAS encontrado por: **a)** Hastenrath (1985) **b)** Machel et al. (1998).

Para tentar compreender essas discrepâncias entre os dois trabalhos e atualizar os estudos do ASAS para dados mais recentes e mais confiáveis, foi rodado o algoritmo de rastreamento de máximos de pressão com os dados mensais da ERA-Interim ECMWF para o domínio entre 38°S – 20°S e 38°W – 10°E. Foi obtido um banco de dados mensal das coordenadas do centro do ASAS e da sua pressão máxima para o período de 1989-2010. A **Figura 4.2** contém uma representação espacial média mensal da posição do ASAS ao longo do ano. A **Tabela 10.1** contém os valores mensais de latitude, longitude e pressão máxima do centro do ASAS obtidos através do algoritmo



**Figura 4.2** – Representação espacial do ciclo anual do ASAS para a média entre 1989-2010.

a) Variação bidimensional, b) Variação longitudinal, c) Variação latitudinal.



**Figura 4.3** –Variação média mensal (1989-2010) da pressão no centro do ASAS.

Nota-se na **Figura 4.2 c** que o ASAS possui um ciclo anual bem definido em relação a sua posição latitudinal. Ela se encontra mais a norte nos meses de junho, julho e agosto, em torno de 29°S, e mais a sul no meses de fevereiro e março, com latitude média de 33°S. Na **Figura 4.2.b** observa-se a variação longitudinal do ASAS, indicando uma oscilação com período de seis meses, diferente da variação latitudinal que possui uma oscilação com período de 1 ano. Nos meses de março, abril e outubro o ASAS se encontra em torno de 2°W e nos meses de fevereiro e agosto o anticiclone se encontra a 8°W e 10°W respectivamente.

Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Machel et al. (1998), mas bastante diferentes dos de Hastenrath (1985). Uma possível explicação para a discrepância na posição do ASAS pode ser o baixo número de anos utilizados no trabalho de Hastenrath (1985), em que algum padrão multi-anual de larga escala pode ter contaminado os dados. Já no trabalho de Machel et al. (1998), foram utilizados mais de cem anos de dados, e os resultados dele foram próximos aos obtidos neste trabalho.

Em relação à pressão máxima do centro do ASAS, também é observado um ciclo anual bem definido (**Figura 4.3**). Nos meses de julho e agosto, o centro do ASAS ultrapassa valores de 1025 hPa. Em contrapartida, os menores valores de pressão máxima do ASAS são observados nos meses de janeiro a maio, com médias em torno de 1021hPa. A **Tabela 4.1** contém os resultados resumidos obtidos neste trabalho indicando em quais meses o ASAS se encontra mais a leste/oeste, norte/sul e intensificado/enfraquecido.

**Tabela 4.1** - Resumo dos resultados extremos encontrados pelo algoritmo de rastreamento do ASAS para o período de 1989-2010.

<b>Resumo rastreamento do ASAS</b>	
Norte	junho a agosto (~28,5°S)
Sul	fevereiro e março (~33,0°S)
Leste	março e abril (~1,5°W) e outubro (~2,7°W)
Oeste	fevereiro (8°W) e agosto (9,8°W)
Mais intenso	julho (1025,5hPa) e agosto (1025,6hPa)
Menos intenso	dezembro a maio (~1021hPa)

**Tabela 4.2** – Resultados mensais da posição do ASAS para diversos trabalhos.

<b>Posição mensal do ASASs</b>				
<b>Mês</b>	<b>Resultados deste trabalho</b>	<b>Hastenrath (1985)</b>	<b>Ito e Ambrizzi (2000)</b>	<b>Machel et al. (1998)</b>
Janeiro	31°S 8°W	31°S 7°W		31°S 10°W
Fevereiro	32,5°S 12°W	33°S 0°W		32°S 10,5°W
Março	32,5°S 2°W	29,5°S 4°W		33°S 10°W
Abril	31°S 3°W	30°S 2°W		31,5°S 6,5°W
Maio	28°S 5°W	29°S 1°W		29°S 12,5°
Junho	27°S 10°W	27,5°S 12°W	28°S 5°W	29°S 9°W
Julho	29°S 9°W	28°S 12°W	28°S 10°W	29°S 12,3°W
Agosto	28°S 18°W	27°S 14°W	29°S 4°W	28,7°S 12°W
Setembro	28,5°S 12,5°W	29°S 7,5°W		29°S 9,5°W
Outubro	32°S 3°W	28,5°S 3,5°W		30°S 4°W
Novembro	30,5°S 6°W	29°S 4,2°W		31°S 6,5°W
Dezembro	31°S 6°W	30°S 4°W		30°S 8°W

A **Tabela 4.2** contém a posição central mensal do ASAS (latitude e longitude) obtidos neste trabalho e a comparação com os resultados obtidos por Hastenrath (1985), Ito e Ambrizzi (2000) e Machel et. Al (1998). Já a **Tabela 4.3** contém a posição central sazonal do ASAS (latitude e longitude). Observa-se que, para a posição latitudinal do centro do ASAS ao longo do ano, os resultados obtidos por todos os trabalhos é similar. Os valores não diferem mais do que 2° para norte ou para sul ao longo o ano. Entretanto, ao comparar a posição longitudinal do centro do ASAS ao longo dos meses do ano, é observada uma discrepância entre os resultados obtidos por todos os trabalhos, chegando até 14° de diferença no mês de setembro ao comparar-se os resultados obtidos neste trabalho com os obtidos por Ito e Ambrizzi (2000).

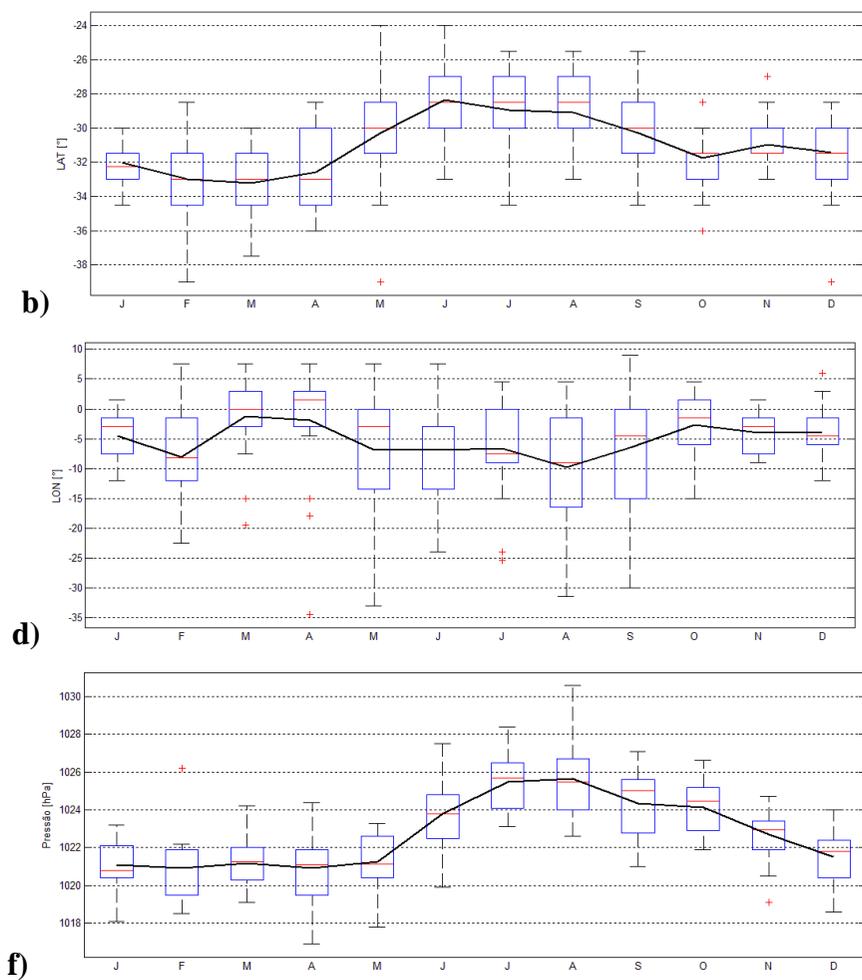
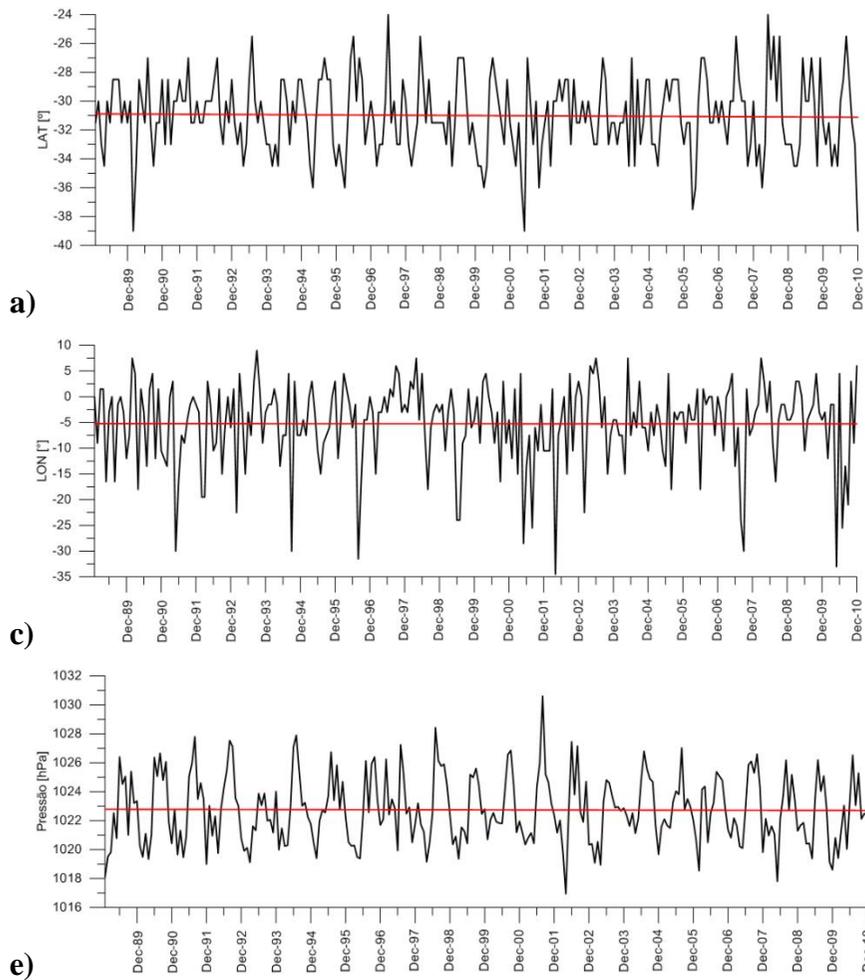
**Tabela 4.3** – Resultados sazonais da posição do ASAS para diversos trabalhos.

<b>Posição sazonal do ASAS</b>				
<b>Estação</b>	<b>Resultados deste trabalho</b>	<b>Hastenrath (1985)</b>	<b>Ito e Ambrizzi (2000)</b>	<b>Machel et al. (1998)</b>
Verão (DJF)	31°S 9°W	31,3°S 3,6°W		31°S 8,1°W
Outono (MAM)	31°S 2,5°W	29,3°S 2,3°W		31,1°S 8°W
Inverno (JJA)	28°S 11°W	27,3°S 12,6°W	30°S 0°W	29°S 11,5°W
Primavera (SON)	30°S 6°W	29°S 5,1°W	30°S 7°W	30°S 6,6°W

A **Figura 4.4** apresenta todos os resultados obtidos com o algoritmo em forma de gráficos. Ela mostra a evolução mensal da posição (variação em latitude e longitude) e da intensidade (valor máximo de pressão) do ASAS. E também apresenta um resumo de todos os dados, que é um gráfico do tipo “box plot”.

Nota-se na **Figuras 4.4 e f** que, em relação à variação da intensidade do centro do ASAS, ele tem um ciclo anual bem definido com sua intensidade máxima nos meses de julho e agosto, o que concorda com os resultados encontrados anteriormente e também com Machel et al. (1998). Outros pontos que valem ser ressaltados são: existem poucos “out-liers”, ou pontos fora da reta (valores extremos), e os 2° e 3° quartis possuem valores muito próximos para todos os meses do ano. Esse resultado mostra que a variação na intensidade do ASAS ao longo dos anos é muito pequena, possuindo um padrão anual bem definido.

Observando a variação do ASAS em relação à latitude (**Figuras 4.4 a e b**), nota-se que ele também possui um ciclo anual bem definido com sua posição mais a norte nos meses de junho a agosto e valores mais a sul nos meses de fevereiro e março, coincidindo com a variação intra-anual da ZCIT.

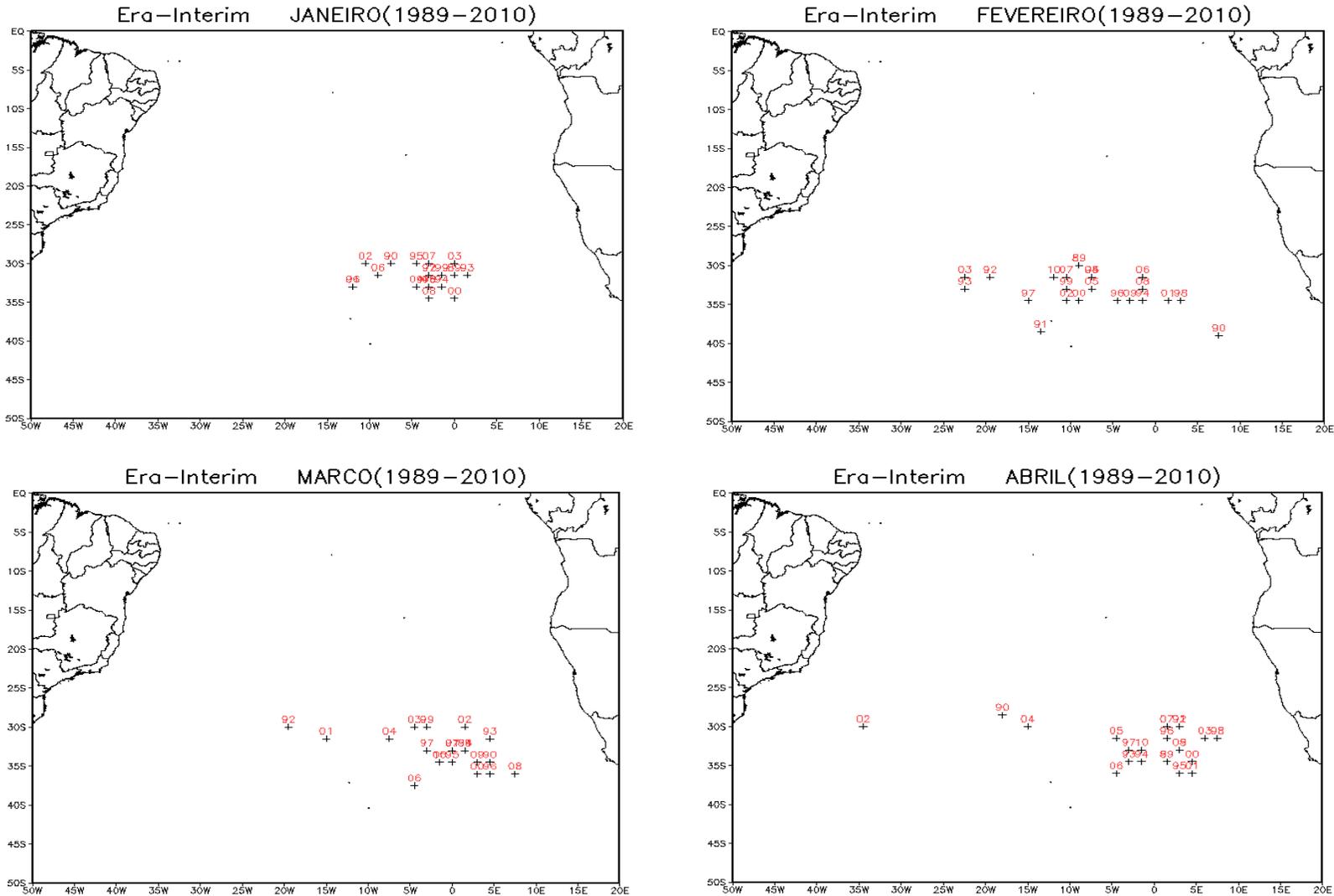


**Figura 4.4** – Variação mensal da posição **a)** latitudinal, **c)** longitudinal e da **e)** intensidade (em hPa) do ASAS. Com valores médios anuais em vermelho. E gráficos tipo caixa das posições **b)** latitudinais, **d)** longitudinais e da **f)** intensidade (em hPa) do ASAS.

As **Figuras 4.4 c e d** contêm os resultados da variação longitudinal do centro do ASAS para o período de 1989-2010. Percebe-se que não existe um ciclo anual bem definido, o número de “out-liers” é bem maior do que as outras séries de dados e ele possui uma grande variação inter-anual. Nos meses de outubro a abril, o ASAS possui uma variação longitudinal inter-anual bem menor do que nos meses de maio a setembro. Esse resultado indica que o ASAS possui uma maior probabilidade de ter variações intensas em relação a sua posição longitudinal média nos meses de inverno do que nos meses de verão, o que mostra que, nos meses em que a atividade ciclônica é mais intensa (inverno), são observadas grandes variações na posição do ASAS, já nos meses em que a atividade ciclônica é menos intensa (verão) as variações interanuais da posição longitudinal do ASAS é bem menor. Por não possuir um padrão bem definido ao longo do ano, deixa-se descartada a influência direta do ciclo anual e seus fatores de larga escala na posição longitudinal do centro da ASAS.

A **Figura 4.5** explicita a posição mensal do centro da ASAS para cada um dos meses do ano entre o período de janeiro de 1989 até dezembro de 2010, complementando os resultados da **Figura 4.4**. Entre os meses de outubro a abril, o ASAS possui uma variação inter-anual bem menor comparada com os meses de maio a setembro. Existem diversos valores extremos da posição do ASAS para oeste, como por exemplo o mês de setembro. Nos meses de setembro de 1994 e 2007, o ASAS esteve a  $30^{\circ}\text{W}$ , já no mês de setembro de 2003, ele esteve a  $10^{\circ}\text{E}$ , uma variação de  $40^{\circ}$  de longitude da posição do ASAS em relação ao mesmo mês de anos distintos. No capítulo 6 foi feito um estudo de caso dos meses de setembro de 2007 e 1993 para compreender-se em escala sinótica qual foi o impacto na América do Sul pelo fato de o ASAS estar deslocado para oeste e leste.

Segundo Ito (1999), nos meses de inverno, a variação na posição do ASAS está intimamente ligada à passagem de frentes frias. Quando uma frente fria se desloca, ela desloca o ASAS para leste, sendo que, quando não há passagem de frentes, a alta pressão atinge longitudes mais a oeste. Espera-se que, em meses que tenham muitas passagens de frentes frias na AS, o ASAS esteja deslocado para leste da sua posição climatológica. Já em meses em que são observadas poucas passagens de frentes frias, o ASAS tende a se aproximar do continente sul-americano.



**Figura 4.5** – Posição central do ASAS para cada mês entre 1989-2010 separado mensalmente. Os números indicam são os dois últimos dígitos de cada ano em estudo.

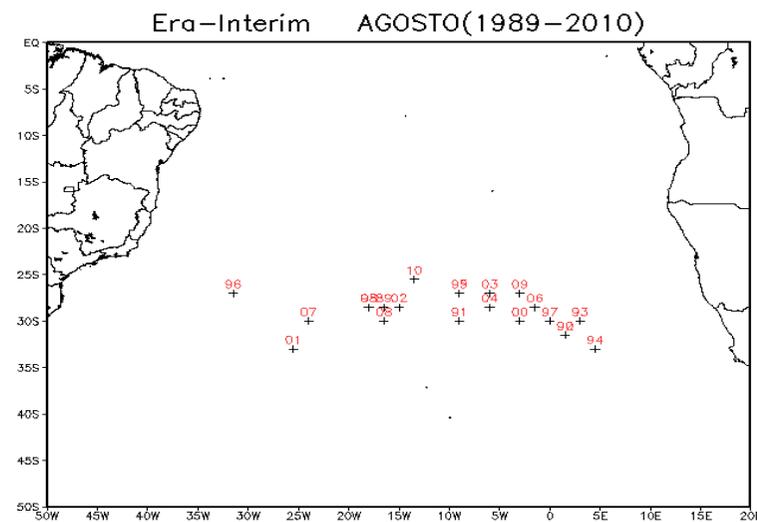
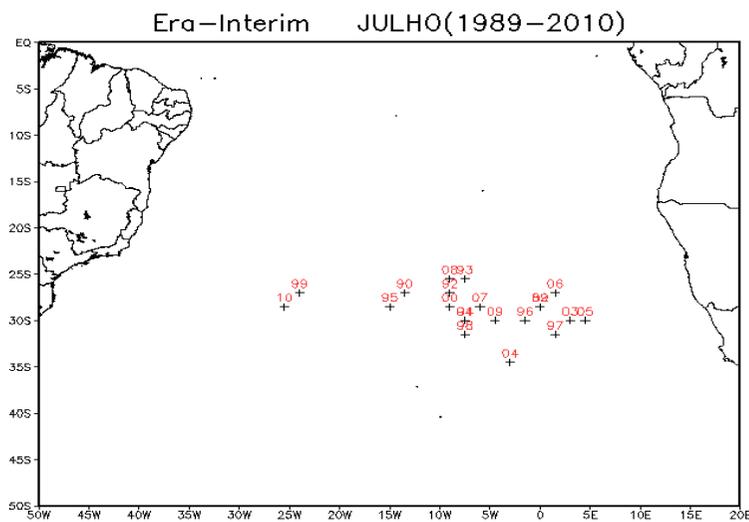
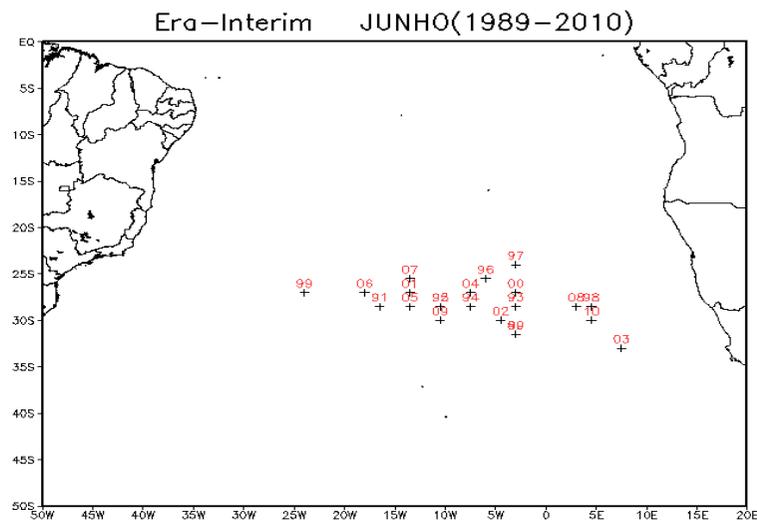
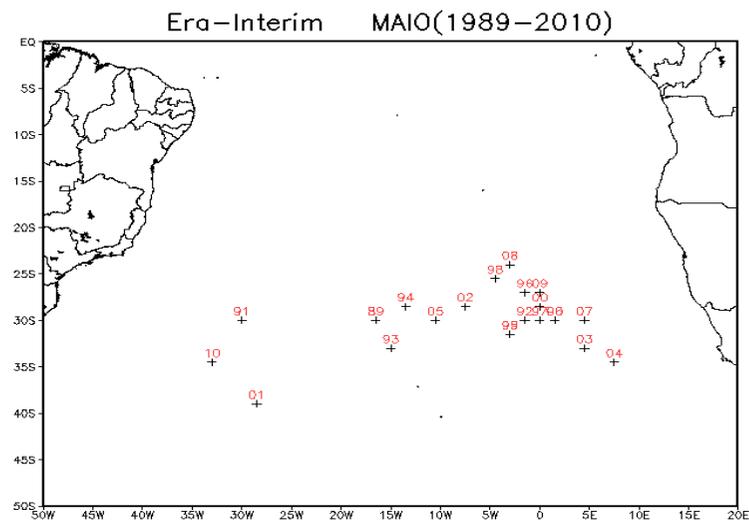


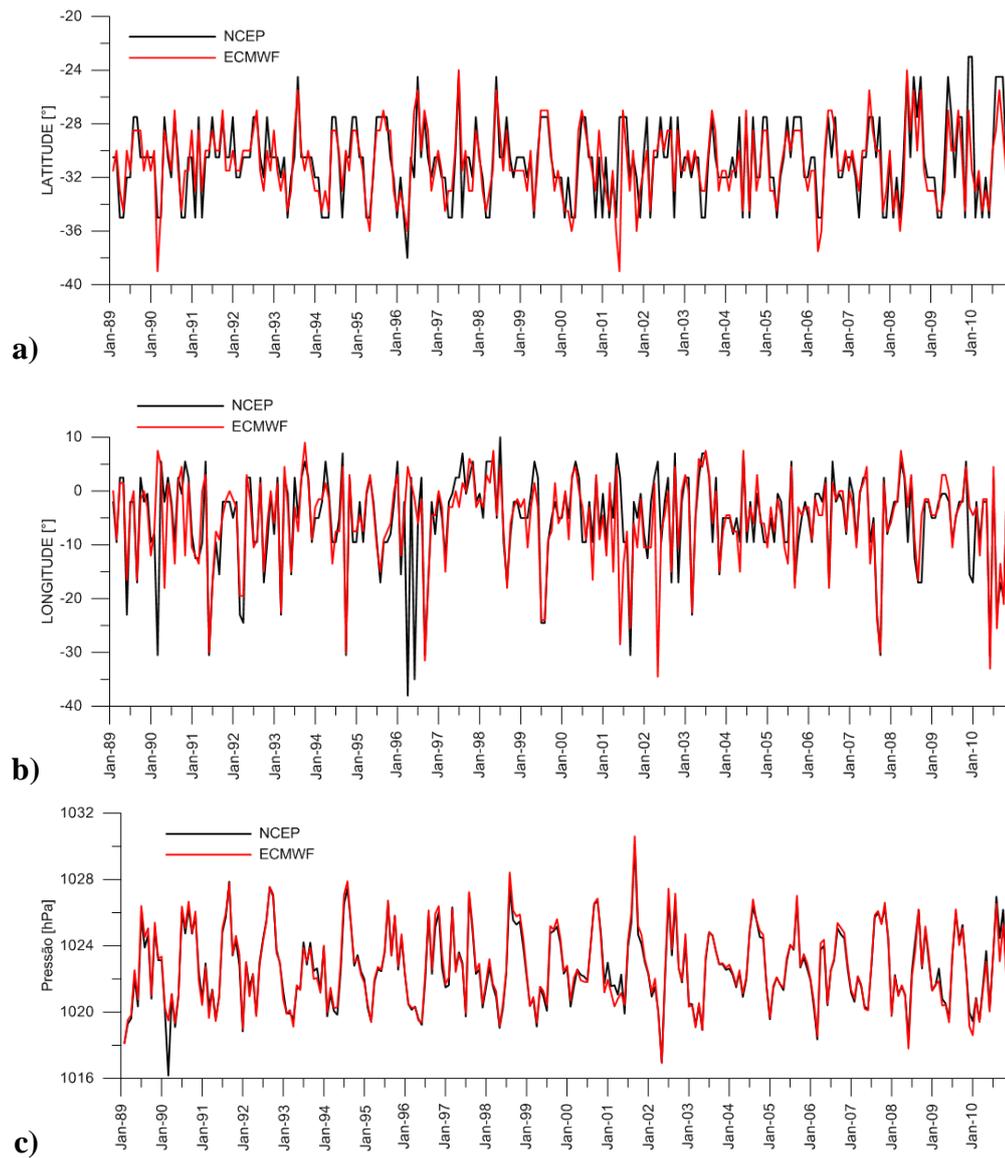
Figura 4.5 – Continuação.



Como o centro europeu ECMWF possui dados de reanálise apenas para períodos após 1989, essa é uma limitação para entender-se o ASAS em um período de mais longo prazo. Por esse motivo, foi utilizado o algoritmo de obtenção da posição do centro do ASAS nos dados de reanálise 1 do NCEP/NCAR, que possui dados desde 1948. Para comparar os resultados obtidos pelas duas fontes de dados, foi preciso transformar a grade dos dados do NCEP para um espaçamento de  $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ . A **Figura 4.6** contém três gráficos temporais com a posição latitudinal e longitudinal do ASAS e a pressão no seu centro, para os dados do NCEP/NCAR e ECMWF.

Comparando as duas fontes de dados, observa-se que, para a variação latitudinal do ASAS, os dados do NCEP mostram resultados muito próximos do ECMWF, indicado por uma correlação de 0,82 e um erro médio de  $\pm 1,67^{\circ}$ . Para a variação longitudinal do centro do anticiclone, os resultados obtidos pelo NCEP foram parecidos com o ECMWF em média, com uma correlação de 0,74. No entanto, em muitos casos, os resultados das duas fontes divergem consideravelmente, como por exemplo o mês de fev/1990, em que o ECMWF posiciona o centro do ASAS na longitude  $7,5^{\circ}$ , mas o NCEP coloca o centro da alta na longitude  $-30,5^{\circ}$ , uma diferença de  $38^{\circ}$  entre eles. Essa diferença pode comprometer qualquer tipo de análise que é feita sobre o ASAS. Em média a variação longitudinal possui um erro de  $\pm 6,11^{\circ}$ . Já para a variação da pressão máxima do centro do ASAS, observa-se que as duas fontes de dados apresentam resultados extremamente parecidos com uma correlação de 0,99 e um erro médio de  $\pm 0,4$  hPa. Sendo assim, conclui-se que é possível utilizar os dados de reanálise 1 do NCEP para representar a posição do ASAS, mas com uma ressalva para a variação longitudinal da alta pressão, cujos valores, em alguns casos, divergem muito dos resultados obtidos pelo ECMWF.

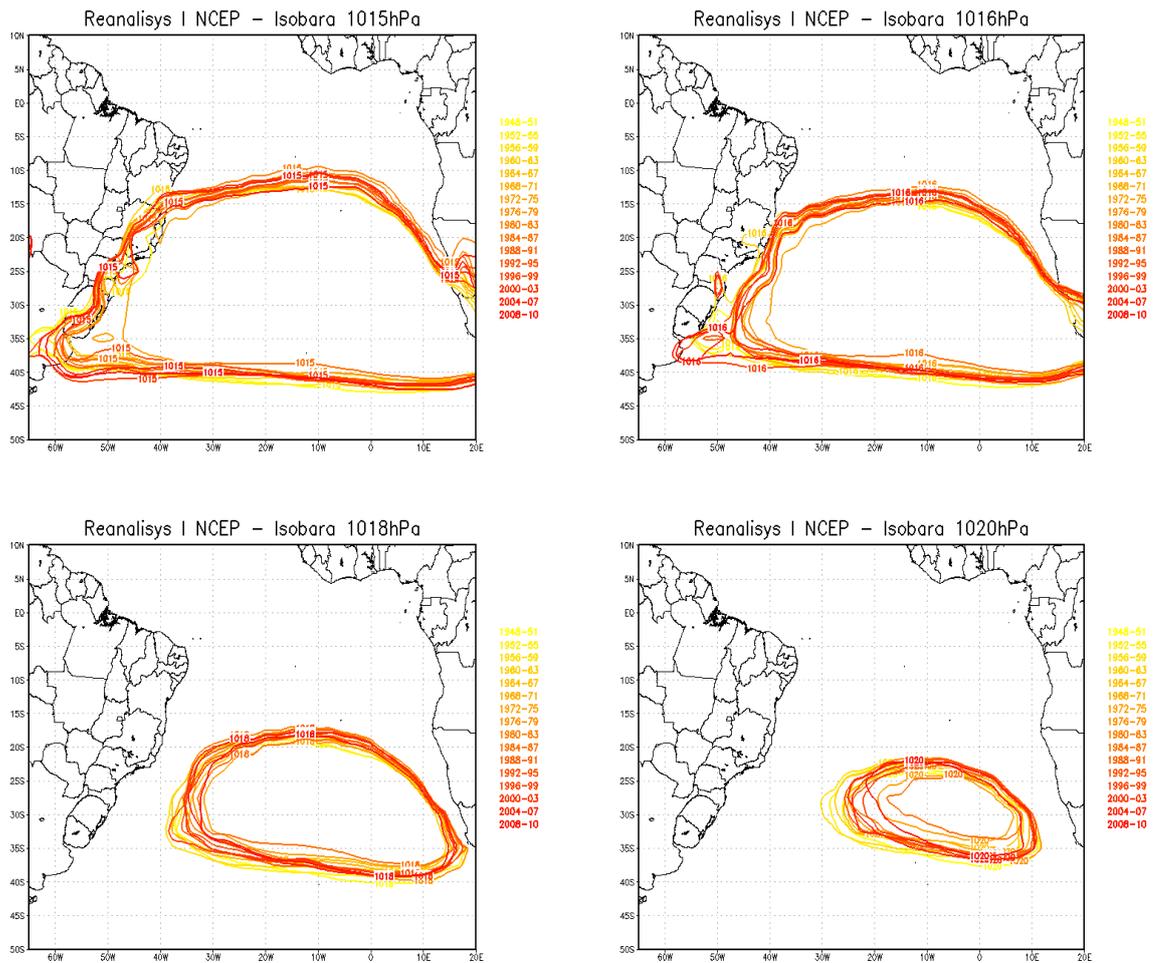
As **Figura 4.7** contém médias quadrienais das isóbaras de 1015hPa, 1016hPa), 1018hPa e 1020hPa obtidas a partir dos dados de reanálise 1 do NCEP. A intenção dessas Figuras é tentar encontrar alguma variação climática ao longo dos anos das isóbaras de diferentes valores e consequentemente verificar se o ASAS está se alterando espacialmente nos últimos 50 anos. O que se observa é que, em alguns quadriênios, o ASAS se contrai espacialmente, como é o caso de 1980-1983, e, em alguns casos, o ASAS se expande especialmente entre 2004-2007. Na média observa-se que não existe uma tendência de contração ou expansão do ASAS nos últimos 50 anos, ou seja, o anticiclone não teve uma tendência de intensificação/enfraquecimento ou variação da sua posição. Observa-se sim uma variação cíclica ao longo do tempo que pode estar associado a alguma oscilação de larga escala



**Figura 4.6** – Variação mensal da posição **a)** latitudinal, **b)** longitudinal e da **c)** intensidade do centro do ASAS para os dados ERA-Interim ECMWF e NCEP/NCAR Reanalysis I.

<b>Comparação entre NCEP/NCAR e ECMWF</b>			
	<b>Correlação</b>	<b>RMES</b>	<b>BIAS</b>
Posição Latitudinal ASAS [°]	0,82	1,67	0,18
Posição Longitudinal ASAS [°]	0,74	6,11	0,03
Pressão central ASAS [hPa]	0,99	0,40	0,08

**Tabela 4.4** – Correlação do rastreamento do ASAS para diferentes fontes de dados.



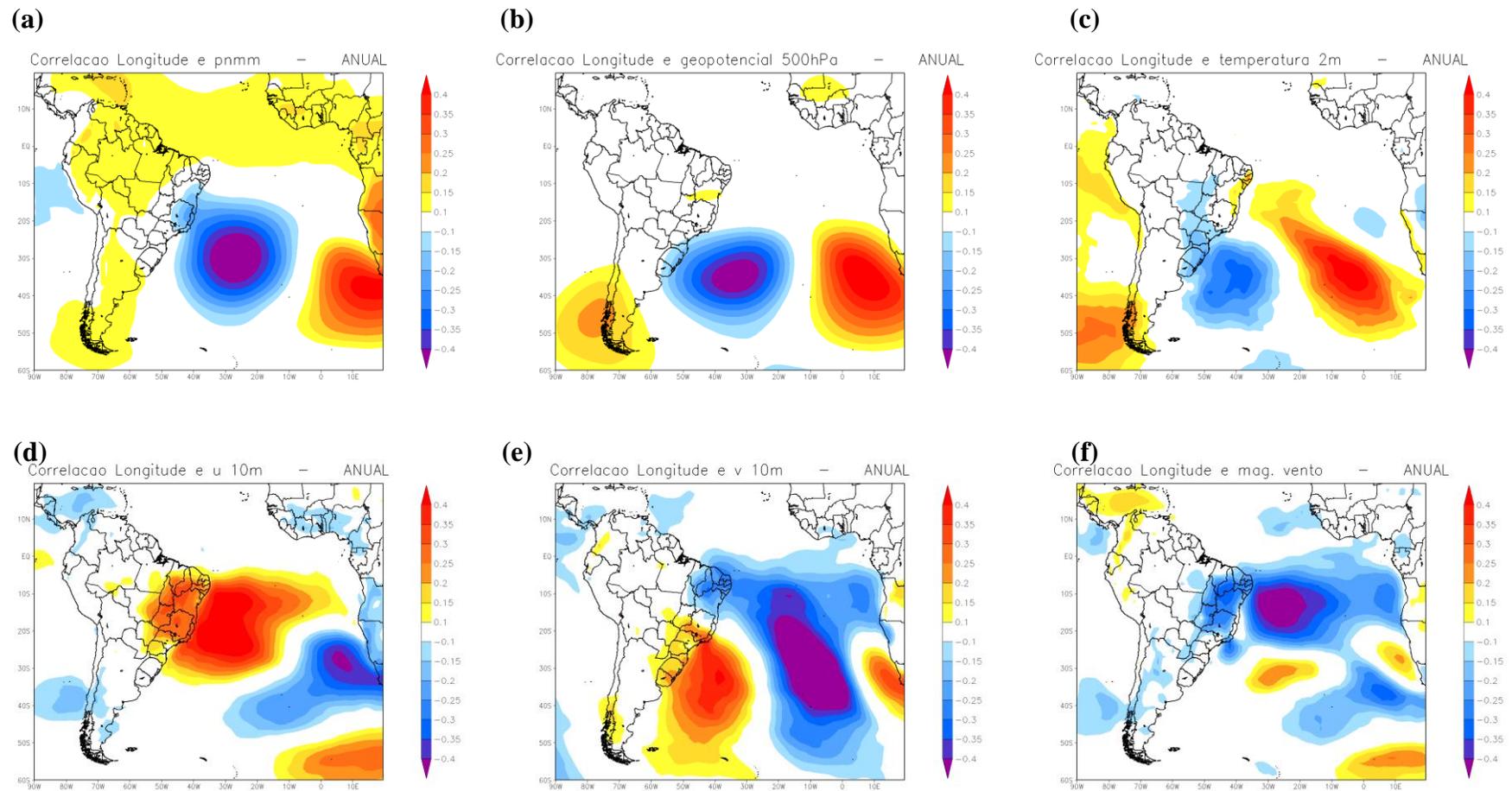
**Figura 4.7** – Médias quadrienais para as isóbaras de a) 1015hPa, b) 1016hPa, c) 1018hPa e d) 1020hPa para os dados de Ranálise I do NCEP/NCAR.

## CAPÍTULO 5 Correlação do ASAS com Diversas Variáveis Meteorológicas

O ASAS possui uma importância fundamental no clima da AS, tanto nos meses de verão quanto nos meses de inverno (Bastos e Ferreira 2000). Vianello e Maia (1986) considera o anticiclone determinante na definição de grande parte das condições de tempo no continente sul-americano. Moscati (1991) e posteriormente Reboita (2010) destacam a posição do ASAS como fundamental para o regime de precipitação no litoral do NEB. Quando o ASAS está afastado do continente e não tão a sul, os ventos de sudeste/leste se enfraquecem e contribuem para o decréscimo de precipitação. Molion et al. (2004) também destacam a importância da posição do anticiclone no clima da AS. Afirmando que o clima dessa região é amplamente afetado pelo deslocamento longitudinal (zonal) do centro do ASAS.

Este capítulo tem como objetivo compreender como o deslocamento do ASAS interfere no clima da AS de forma geral. Para isso foram feitas diversas correlações entre a variação da posição longitudinal do ASAS (**Figura 4.4**) com anomalias mensais de diversas variáveis meteorológicas como: PNMM, temperatura a 2 m, vento zonal a 10 m, vento meridional a 10 m, magnitude do vento a 10 m e geopotencial a 500hPa.

A **Figura 5.1** contém a correlação entre a variação mensal longitudinal do ASAS com as variáveis **(a)** PNMM, **(b)** geopotencial a 500hPa, **(c)** temperatura a 2m, **(d)** vento zonal a 10m, **(e)** vento meridional a 10m e **(f)** magnitude do vento a 10m. Observa-se na **Figura 5.1.a** que existe uma região com correlação positiva entre a PNMM e a posição do ASAS na parte sudeste do OAS próximo à África e uma região com correlação negativa na parte leste do OAS próximo ao litoral do NEB. Esse resultado mostra que, quando o ASAS está deslocado para oeste em relação à sua posição média, a região com correlação negativa próxima ao NEB exibe um aumento da PNMM, enquanto que, na região com correlação positiva próxima ao sul da África, há um decréscimo da PNMM. Em contrapartida, quando o ASAS se desloca para leste, o padrão se inverte, a PNMM aumenta próxima ao sul da África e ela diminui no OAS próximo ao NEB. O destaque é que essa figura deixa bem clara a região de influência do ASAS, que é em torno de 25°S 30°W e 40°S 10°E.



**Figura 5.1** – Correlação entre a variação longitudinal mensal do ASAS com a anomalia mensal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa, (c) Temperatura a 2m, (d) Vento zonal a 10m, (e) Vento meridional a 10m e (f) Magnitude do vento a 10m.

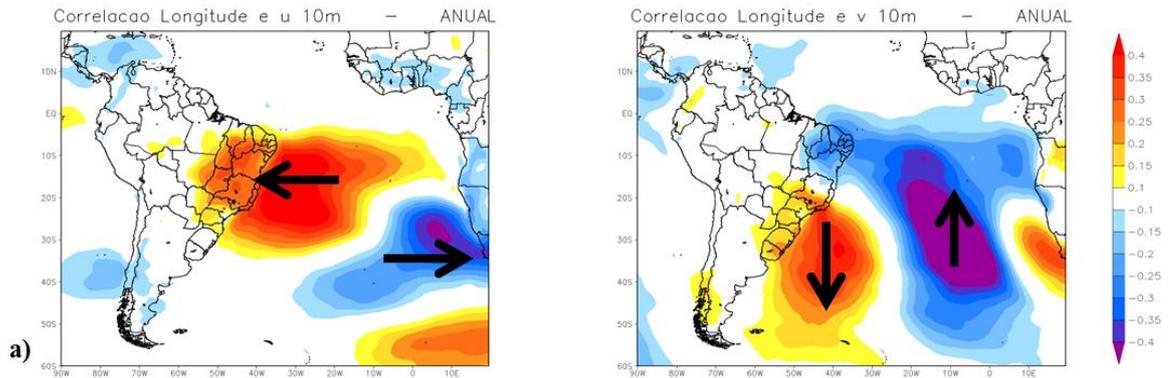
Na **Figura 5.1.b** se observa um comportamento bastante parecido com a **Figura 5.1.a.**, em que se tem uma região com correlação negativa no sul do OAS próximo à latitude do estado do Rio Grande do Sul e uma região com correlação positiva na parte sudeste do OAS próximo à África. Quando o ASAS está deslocado para oeste, em médios níveis observa-se um aumento do geopotencial (crista) no sul do OAS, próximo ao Rio Grande do Sul, e decréscimo do geopotencial (cavado) na parte sudeste do OAS, próximo à África. Entretanto, quando o ASAS está deslocado para leste, o padrão se inverte.

Na **Figura 5.1.c** se observa uma região com correlação positiva da variação longitudinal do ASAS com a anomalia da temperatura a 2m no ramo nordeste do ASAS e uma região com correlação negativa no ramo sudoeste do ASAS. A interpretação dela deve ser feita junto com a **Figura 5.1.e**, em que se observa uma região com correlação negativa da variação longitudinal do ASAS com a anomalia do vento meridional a 10 m no ramo leste do ASAS e uma região com correlação positiva na parte oeste do ASAS. Quando o ASAS está deslocado para oeste, há uma intensificação da sua circulação anticiclônica. Essa intensificação na circulação gera um aumento de advecção fria na parte leste do ASAS, transportando ar mais frio próximo ao polo a regiões de menores latitudes e também há um aumento da advecção quente no ramo oeste do ASAS transportando ar quente próximo ao equador até a região Sul do Brasil.

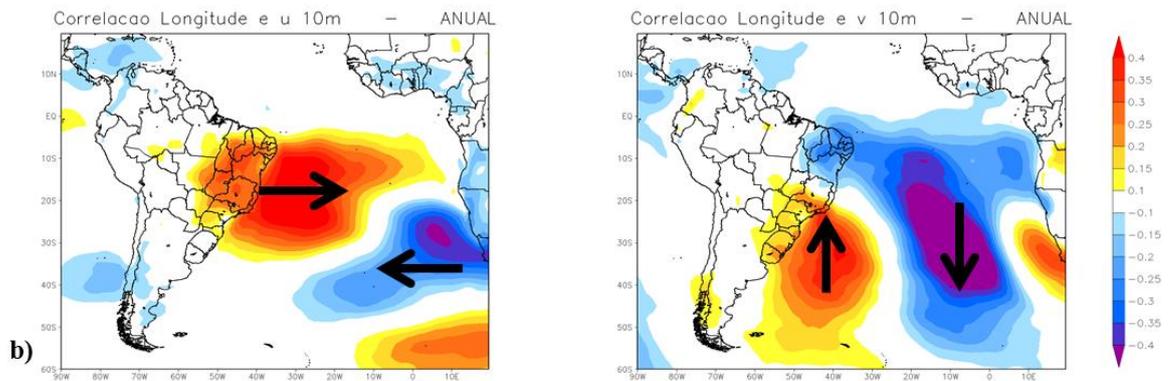
Quando o ASAS se encontra deslocado para oeste da sua posição climatológica, é observada uma anomalia anticiclônica no centro do OAS. Já quando o ASAS se encontra deslocado para leste, o padrão se inverte e é observada uma anomalia ciclônica (**Figura 5.2**).

A **Figura 5.1.f** contém a correlação da variação longitudinal do ASAS com a magnitude do vento a 10 m. Observa-se uma região com correlação negativa em todo o NEB. Quando o ASAS está deslocado para oeste, há uma intensificação dos ventos alísios no NEB e se observam ventos mais intensos a 10m. Já quando o ASAS está deslocado para leste, os alísios no NEB se enfraquecem e são observados ventos menos intensos em todo o nordeste do Brasil. Esse resultado é importante, pois nos dias de hoje cada vez mais são buscadas novas fontes de geração de energia para depender-se cada vez menos dos combustíveis fósseis. Uma importante fonte de energia no Brasil é a geração eólica. Que cada dia mais vem ganhando espaço e se tornando uma fonte sólida na matriz energética brasileira. Grande parte das usinas eólicas do Brasil situam-se na região do NEB, onde os ventos são intensos e mais constantes

## ASAS deslocado para oeste

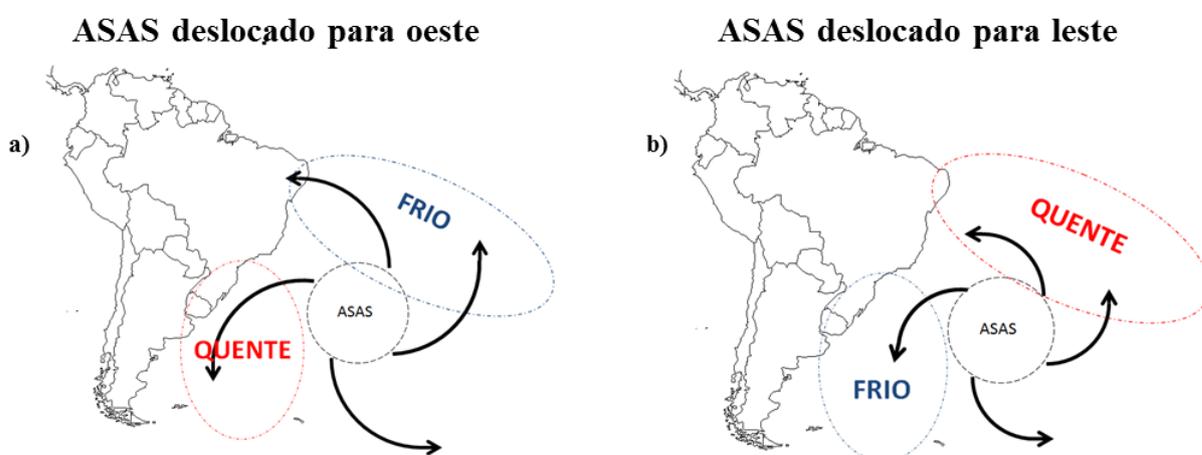


## ASAS deslocado para leste



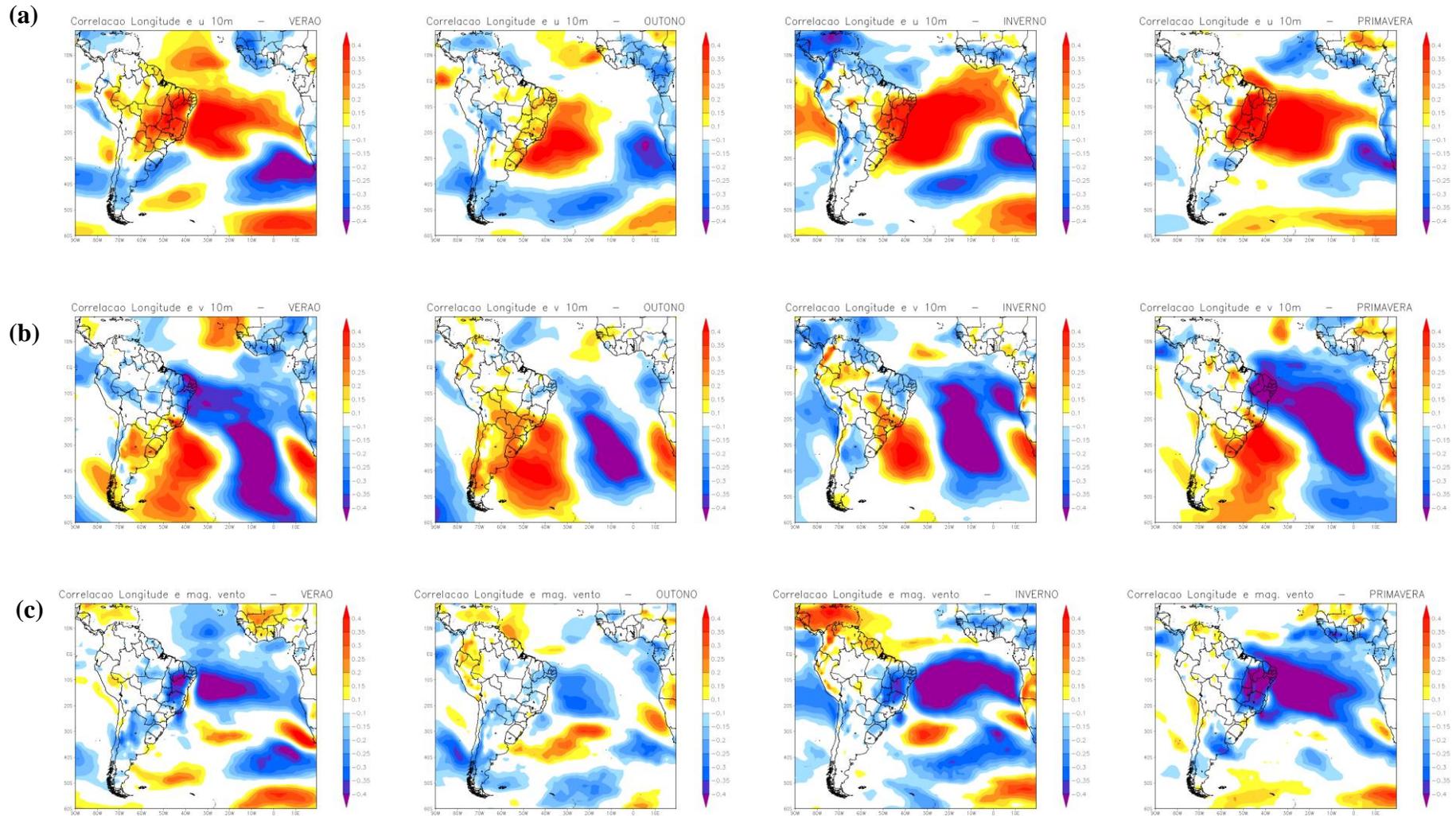
**Figura 5.2** – Correlação da variação longitudinal do ASAS com o vento zonal e meridional a 10 m. **(a)** Esquema representando a anomalia na circulação zonal e meridional quando o ASAS está deslocado para oeste. **(b)** Esquema representando a anomalia na circulação zonal e meridional quando o ASAS está deslocado para leste.

A **Figura 5.3** contém um resumo, em baixos níveis, dos fenômenos observados quando o ASAS está deslocado para oeste e para leste em relação à sua posição climatológica. Quando o ASAS está deslocado para oeste, observa-se uma anomalia anticiclônica na sua circulação, são observadas anomalias de temperatura a 2m negativas no ramo nordeste do ASAS e anomalias positivas no ramo sudoeste do ASAS próximo ao Rio Grande de Sul, sendo também observados ventos mais intensos em toda a região do NEB. Em contrapartida, quando o ASAS está deslocado para leste, o padrão se inverte.

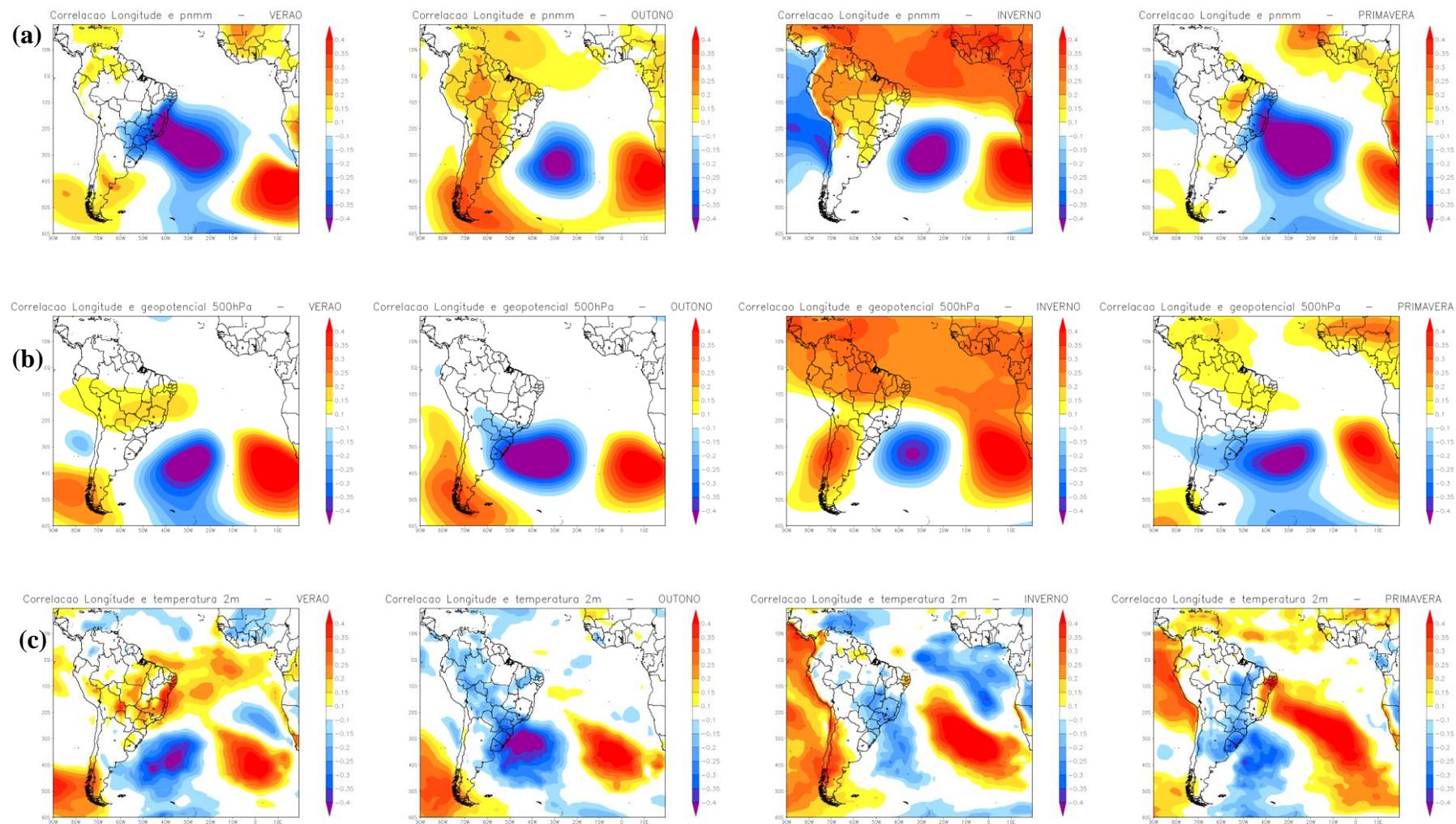


**Figura 5.3** – Resumo, em baixos níveis, do que acontece com anomalias de temperatura quando o ASAS está deslocado para oeste (a) e para leste (b) da sua posição climatológica.

A **Figura 5.4** contém a correlação entre a variação longitudinal do ASAS com o vento zonal (a), vento meridional (b) e magnitude do vento (c) para as médias sazonais entre o período de 1989-2010. Observa-se que a região com correlação negativa entre a posição longitudinal do ASAS com a magnitude do vento próxima ao NEB varia ao longo do ano. Os meses da primavera, verão e inverno são aqueles em que a correlação é respectivamente mais forte. Já nos meses de outono a correlação entre a variação longitudinal do ASAS com a magnitude do vento na região do NEB é fraca. Nos meses de primavera, verão e inverno, quando o ASAS se encontra deslocado para oeste, são observados ventos mais intensos em praticamente todo o nordeste do Brasil. Em contrapartida, quando o ASAS se encontra deslocado para leste, são observados ventos mais fracos nessa região. Já nos meses de outono, a posição longitudinal do ASAS não interfere na variação da magnitude do vento.



**Figura 5.4** – Correlação entre a média sazonal da variação longitudinal do ASAS com a anomalia sazonal da (a) componente zonal do vento a 10m, (b) componente meridional do vento a 10m e (c) magnitude do vento a 10m



**Figura 5.5** – Correlação entre a média sazonal da variação longitudinal do ASAS com a anomalia sazonal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa e (c) Temperatura a 2m

A **Figura 5.5** contém a correlação da posição longitudinal do ASAS com a PNMM **(a)**, geopotencial a 500hPa **(b)** e temperatura a 2m **(c)**. Na **Figura 5.5 a** e **Figura 5.5 b** observa-se que, independentemente da estação do ano, existe uma região característica de correlação positiva e correlação negativa da posição longitudinal do ASAS com a PNMM e o geopotencial (baixos e médios níveis). Quando o ASAS se encontra deslocado para oeste, independentemente da estação do ano, observa-se que, na região do OAS próxima da AS, existe um aumento da PNMM e, nessa mesma região, em médios níveis, há um aumento do geopotencial associado a uma situação de crista. Já na região do OAS leste próximo à costa da África, observa-se que a PNMM diminui e há um decréscimo do geopotencial em 500hPa induzindo uma situação de cavado na região. Quando o ASAS está deslocado para leste, o padrão se inverte.

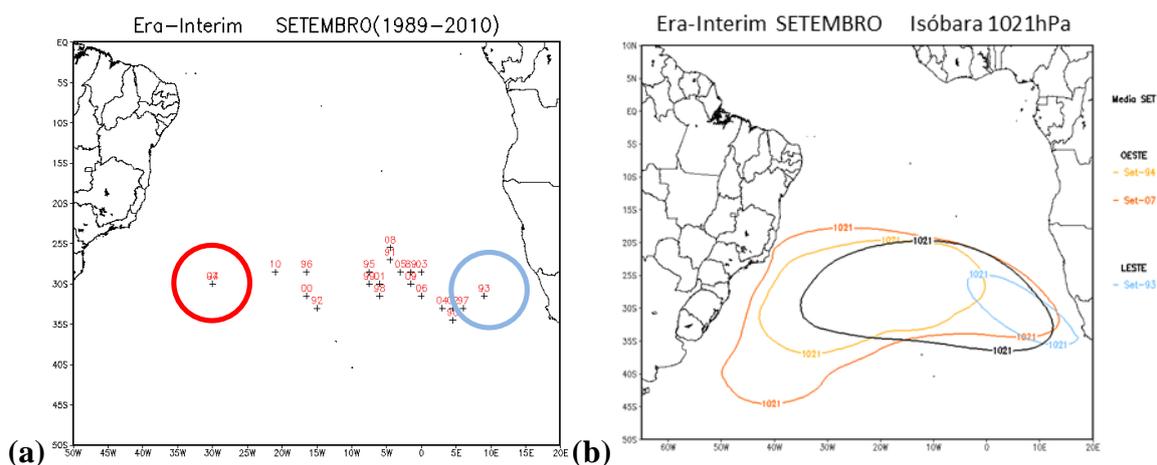
A **Figura 5.5 c** contém a correlação entre a posição longitudinal do ASAS com a temperatura do ar a 2m. É observada uma grande variação da correlação ao longo das estações do ano. Nos meses de verão e primavera, é observada uma região com correlação positiva na costa do NEB. Nessas estações, quando o ASAS se encontra deslocado para oeste, são observadas temperaturas menores na costa do NEB. Já quando o ASAS se encontra deslocado para leste, são observadas temperaturas mais quentes na costa do NEB. Em contrapartida, nos meses de outono e inverno, a variação longitudinal do ASAS não interfere na temperatura da costa do NEB. Também é observada uma região com correlação negativa na Região Sul e parte da Região Sudeste do Brasil nos meses de outono, inverno e primavera, ou seja, quando o ASAS se encontra deslocado para oeste (nos meses de outono, inverno e primavera) são observadas anomalias positivas de temperatura a 2m na Região Sul e na parte sul da Região Sudeste e, quando o ASAS se encontra deslocado para leste, o padrão se inverte.

Os resultados obtidos através da correlação entre a variação longitudinal do ASAS com diversas variáveis meteorológicas são significativos, mas vale ressaltar que as correlações obtidas neste trabalho não ultrapassaram 0,6. É esperado que, nos casos extremos da posição longitudinal do ASAS, esse padrão aconteça, mas poderá haver situações em que não haja significância estatística nos resultados e a posição longitudinal do ASAS não interfira.

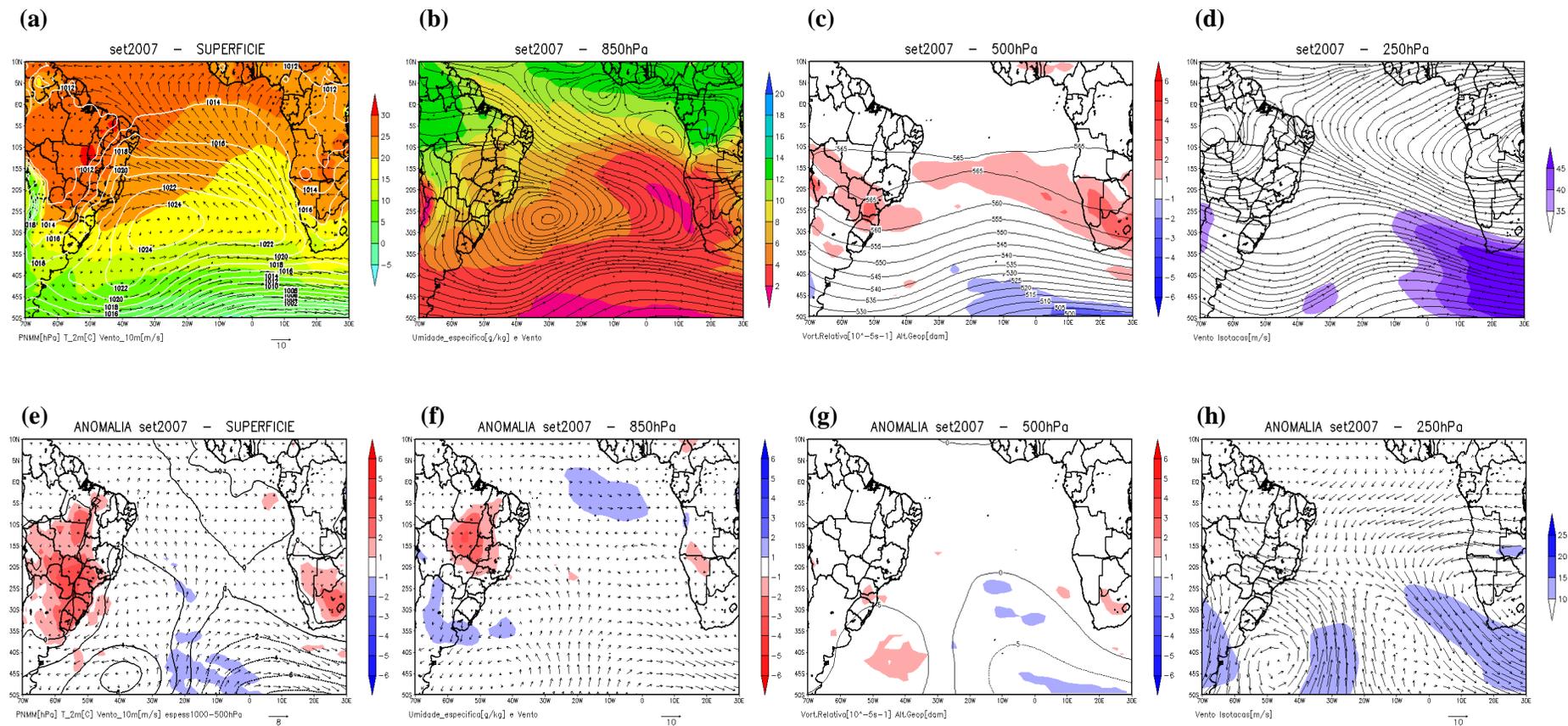
No Apêndia encontra-se a correlação da variação latitudinal e a intensidade do ASAS com diversas variáveis meteorológicas

## CAPÍTULO 6 Estudo de Caso

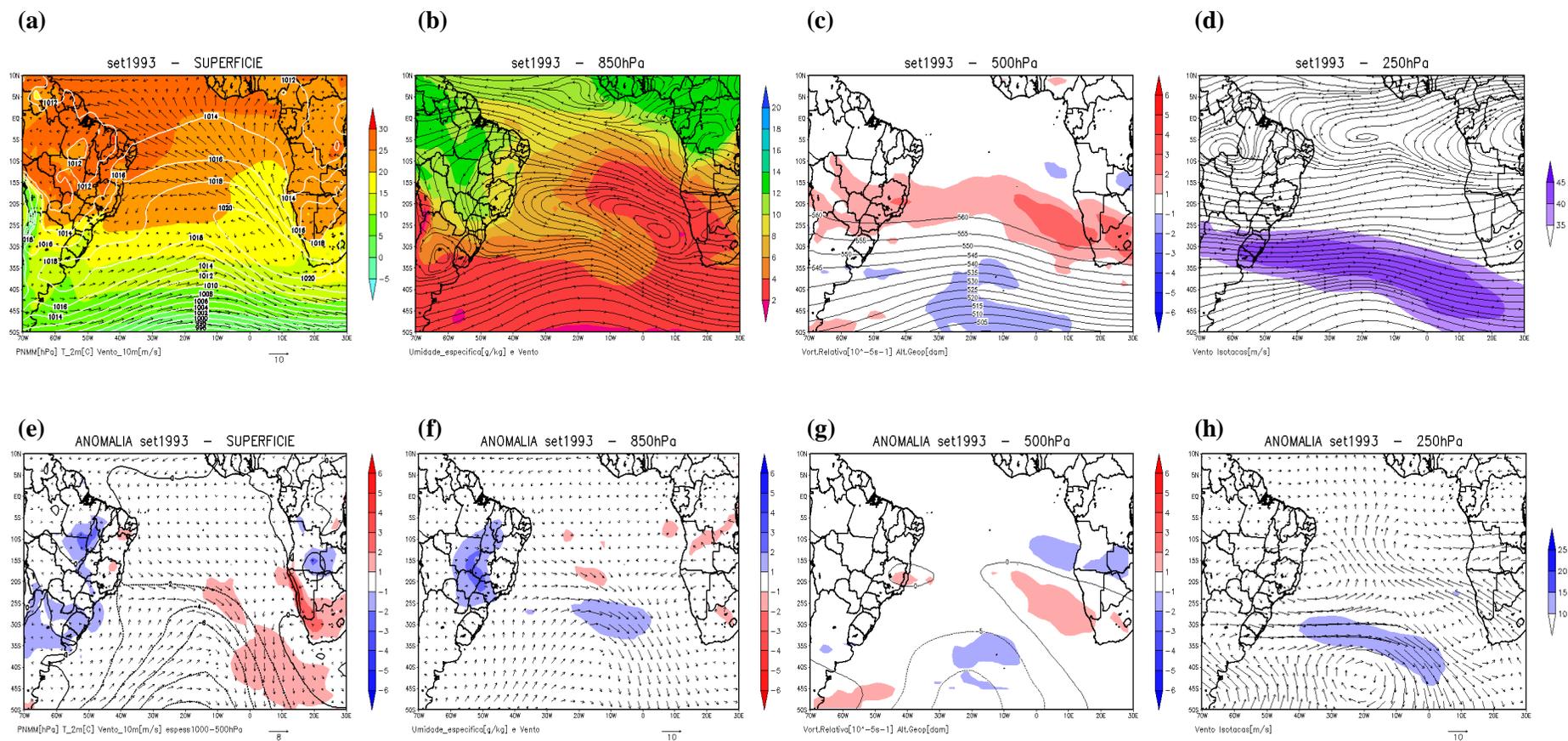
Este capítulo visa a analisar, em escala sinótica, os meses de setembro de 2007 e setembro de 1993. Esses dois meses foram completamente distintos em relação à posição longitudinal média mensal do centro do ASAS. No mês de setembro de 2007 o ASAS esteve mais a oeste e em setembro de 1993 ele esteve mais deslocado a leste, considerando todo o período de 1989-2010. A **Figura 6.1.a** contém a posição central do ASAS para todos os meses de setembro, entre 1989 e 2010, e a **Figura 6.1.b** contém a isóbara média de 1021hPa para esses dois meses. Observa-se que, no mês de setembro de 2007, a isóbara de 1021 possui uma grande dimensão espacial e está deslocada para oeste em relação a isóbara média, enquanto que, em setembro de 1993, a isóbara possui uma pequena dimensão espacial e está deslocada para leste em relação à média de 1989-2010.



**Figura 6.1** – (a) Posição central mensal do ASAS para o mês de setembro de 1989-2010, destacando os anos de 1993 e 2007, quando o ASAS esteve deslocado para leste e oeste respectivamente. (b) Isóbara de 1021hPa para a média de setembro (1989-2010) e para os meses de setembro destacados na figura (a).



**Figura 6.2** – Campos sinóticos médios mensais para o mês de setembro de 2007. **(a)** PNMM [hPa], temperatura 2m [°C] e vento a 10m [m/s], **(b)** Umidade específica [g/kg] e linhas de corrente em 850hPa, **(c)** Vorticidade relativa [10<sup>-5</sup>s<sup>-1</sup>] e Altura geopotencial [dam] em 500hPa, **(d)** Linhas de corrente e isotacas [m/s] em 250hPa. e anomalia dos campos sinóticos em relação à média de setembro 1989-2010. **(d)** anom. PNMM [hPa], anom. temperatura 2m [°C] e anom. vento a 10m [m/s], **(e)** anom. umidade específica [g/kg] e anom. vento [m/s] em 850hPa, **(f)** anom. vorticidade relativa [10<sup>-5</sup>s<sup>-1</sup>] e anom. altura geopotencial [dam] em 500hPa, **(g)** anom. vento [m/s] e anom. isotacas [m/s] em 250hPa



**Figura 6.3** – Campos sinóticos médios mensais para o mês de setembro de 1993. **(a)** PNMM [hPa], temperatura 2m [°C] e vento a 10m [m/s], **(b)** Umidade específica [g/kg] e linhas de corrente em 850hPa, **(c)** Vorticidade relativa [ $10^{-5}s^{-1}$ ] e Altura geopotencial [dam] em 500hPa, **(d)** Linhas de corrente e isotacas [m/s] em 250hPa. e anomalia dos campos sinóticos em relação à média de setembro 1989-2010. **(d)** anom. PNMM [hPa], anom. temperatura 2m [°C] e anom. vento a 10m [m/s], **(e)** anom. umidade específica [g/kg] e anom. vento [m/s] em 850hPa, **(f)** anom. vorticidade relativa [ $10^{-5}s^{-1}$ ] e anom. altura geopotencial [dam] em 500hPa, **(g)** anom. vento [m/s] e anom. isotacas [m/s] em 250hPa

A **Figura 6.2** contém campos sinóticos médios mensais para o mês de setembro de 2007 e suas respectivas anomalias em relação à média de setembro para o período de 1989-2010. Nela as seguintes variáveis são analisadas: PNMM [hPa], temperatura 2m [°C] e vento a 10m [m/s], Umidade específica [g/kg] e linhas de corrente em 850hPa, Vorticidade relativa [ $10^{-5}s^{-1}$ ] e Altura geopotencial [dam] em 500hPa, Linhas de corrente e isotacas [m/s] em 250hPa; além das anomalias dos campos sinóticos em relação à média de setembro 1989-2010 para cada uma das variáveis. Na superfície, o centro do ASAS atingiu valores de 1024 hPa e situou-se próximo ao continente sul-americano. A circulação anticiclônica está intensificada com ventos mais intensos na costa leste do NEB. Com relação à temperatura a 2m, foi observada uma anomalia positiva em grande parte do sudeste, do centro-oeste e da Região Sul e uma anomalia negativa de temperatura no centro sul do OAS, próximo a 40°S e 20°W. No nível de 850hPa observou-se uma anomalia anticiclônica na região de atuação do ASAS intensificando a sua circulação. Também observou-se uma anomalia negativa na umidade específica no interior do Brasil na Região Centro-Oeste. Nos médios e altos níveis, uma crista situou-se próxima ao continente sul-americano (50°W) e um cavado próximo a 10°W. O jato subtropical não se configurou próximo ao continente sul-americano, em contrapartida ele esteve intensificado próximo à África do Sul. Na superfície o centro do ASAS atingiu valores de 1024 hPa e situou-se próximo ao continente sul-americano. A circulação anticiclônica encontrou-se intensificada com ventos mais intensos na costa leste do NEB. Com relação à temperatura a 2m, foi observada uma anomalia positiva em grande parte do sudeste, do centro-oeste e da Região Sul e uma anomalia negativa de temperatura no centro sul do OAS, próximo a 40°S e 20°W. No nível de 850hPa observou-se uma anomalia anticiclônica na região de atuação do ASAS intensificando a sua circulação. Também observou-se uma anomalia negativa na umidade específica no interior do Brasil na Região do Centro-Oeste. Nos médios e altos níveis, uma crista situou-se próxima ao continente sul-americano (50°W) e um cavado próximo a 10°W. O jato subtropical não se configurou próximo ao continente sul-americano, em contrapartida ele esteve intensificado próximo à África do Sul.

A **Figura 6.3** contém campos sinóticos médios mensais para o mês de setembro de 1994 e suas respectivas anomalias em relação à média de setembro para o período de 1989-2010, similar à Figura 6.2. Na superfície o ASAS esteve situado a leste, próximo à costa da África do Sul e o seu centro esteve com 1020hPa. Foram observadas anomalias ciclônicas na região de atuação do ASAS fazendo com que a circulação do ASAS se enfraquecesse inclusive na costa do NEB, onde se observaram ventos menos intensos. Com relação à temperatura na superfície, a Região Centro-Oeste esteve mais fria, em contrapartida a região a leste do ASAS

esteve mais quente. No nível de 850hPa também observou-se uma anomalia ciclônica na região de atuação do ASAS e no centro-oeste foram observadas anomalias positivas na umidade específica. Em médios e altos níveis, o jato subtropical esteve mais intensificado na região em torno de 30°S, próximo ao Rio Grande do Sul, sugerindo uma grande atividade frontal nesta região.

Em resumo, no mês de setembro de 2007 o ASAS esteve a oeste, adentrou nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Sul do Brasil. No NEB os ventos alísios se intensificaram. Nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, as temperaturas a 2m estiveram mais elevadas e, na Região Centro-Oeste, foram observadas anomalias negativas de umidade específicas. Já no mês de setembro de 1993 o ASAS esteve a leste da sua posição climatológica, provavelmente tendo uma grande atividade ciclônica na Região Sul e Sudeste do Brasil. Foram observados ventos mais fracos na costa do NEB, temperaturas mais baixas na Região Centro-Oeste e mais disponibilidade de umidade na região.

Em geral os padrões sinóticos observados nos meses de setembro de 2007 e setembro de 1993 foram opostos, deixando clara a importância da posição longitudinal no clima do Brasil e concordando com as correlações da variação longitudinal do ASAS com diversas variáveis meteorológicas encontradas no capítulo 5. Entretanto, como as correlações encontradas não são maiores do que 0,6, sugere-se que apenas em meses extremos da posição longitudinal do ASAS esse padrão observado aconteça.

## CAPÍTULO 7 O ASAS em Cenários Futuros

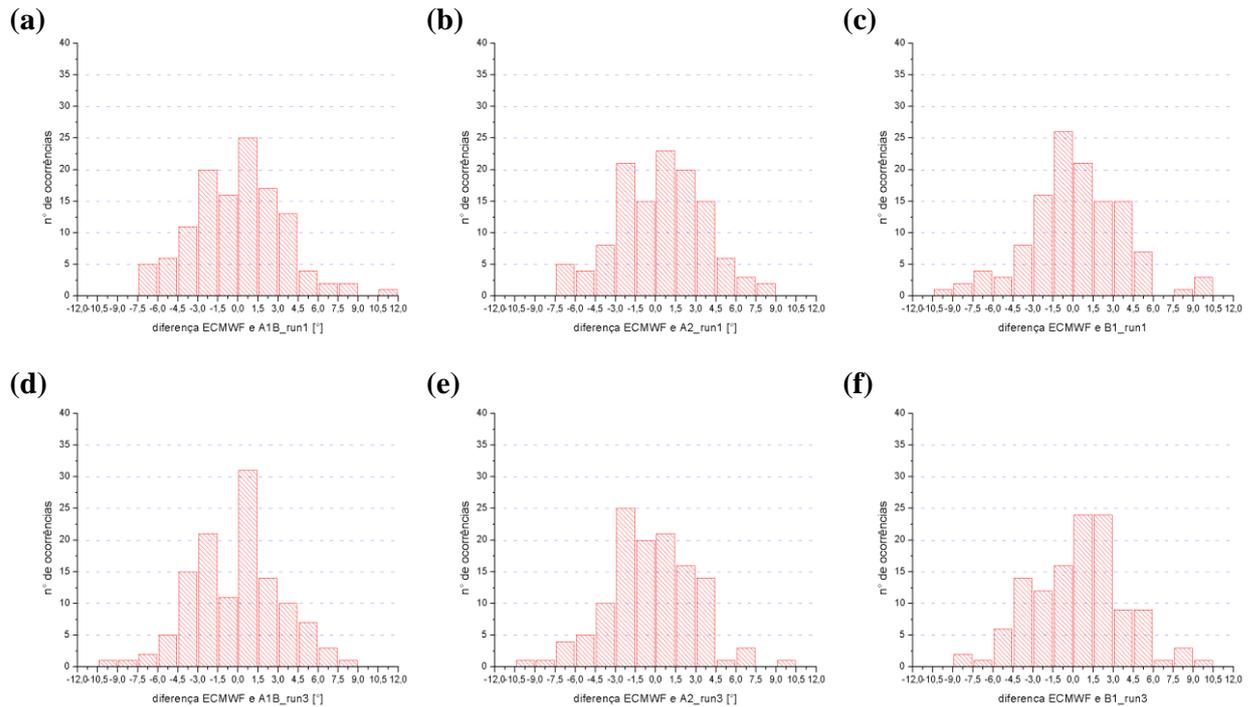
A **Figura 7.1** contém o histograma da distribuição da diferença da posição latitudinal do ASAS entre os dados do ECMWF e ECHAM5/MPI (A1B\_run1, A1B\_run3, A2\_run1, A2\_run3, B1\_run1 e B2\_run3) para o período de intersecção das séries de dados, que é entre 2000 e 2010. Observa-se que, para todos os diferentes cenários de aquecimento global, o histograma possui um comportamento parecido com uma função Gaussiana. Para todas as simulações, em pelo menos 60% dos dados, o erro do modelo ECHAM5/MPI em relação ao ECMWF foi entre  $-3^\circ$  e  $3^\circ$  na posição latitudinal do ASAS. A **Tabela 7.1** contém o cálculo do REQM e do BIAS para a variação latitudinal do ASAS. Observa-se que, para todas as simulações do ECHAM 5/MPI, o erro médio na posição latitudinal do ASAS foi de  $4^\circ$  para norte ou para sul. Já em relação ao BIAS, as simulações A1B\_run3 e A2\_run1 apresentaram valores negativos da posição latitudinal do ASAS em torno de  $3^\circ$  para sul, enquanto que as simulações A1B\_run1, A2\_run3, B1\_run1 e B1\_run3 apresentaram BIAS positivo em torno de  $3^\circ$  para norte em relação aos valores latitudinais do ASAS encontrados pelo ECMWF. Os resultados encontrados pelo ECHAM5/MPI para a posição latitudinal do ASAS são satisfatórios. Esse resultado já era esperado, pois a variação latitudinal do ASAS está principalmente associada a circulações de larga escala da célula de Hadley comandada pelo equador solar, sendo este fenômeno lento e facilmente previsível.

A **Figura 7.2** contém o histograma da distribuição da diferença da posição longitudinal do ASAS entre os dados do ECMWF e ECHAM5/MPI (A1B\_run1, A1B\_run3, A2\_run1, A2\_run3, B1\_run1 e B2\_run3) para o período de intersecção das séries de dados, que é entre 2000 e 2010. Observa-se que, para todos os diferentes cenários de aquecimento global, também é observada uma distribuição Gaussiana: em pelo menos 60% dos dados o erro do modelo EWCHAM5/MPI em relação ao ECMWF foi de  $-6^\circ$  e  $6^\circ$  na posição longitudinal do ASAS. A **Tabela 7.2** contém o cálculo do REQM e do BIAS para a variação longitudinal do ASAS. Observa-se que, para todas as simulações do ECHAM 5/MPI, o erro médio na posição longitudinal do ASAS foi em torno de  $11^\circ$  para leste e para oeste. Já o BIAS ficou próximo de zero para as seis simulações. Esse erro em torno de  $11^\circ$  é grande, mas esse resultado já era esperado porque a variação longitudinal do ASAS está intimamente relacionada à atividade ciclônica na região do OAS, fenômeno difícil de se simular com modelos climáticos, embora Bengtsson et al. (2006) tenha mostrado que o ECHAM5/MPI foi capaz de simular razoavelmente bem a atividade dos “*storm tracks*” no HS.

A **Figura 7.3** contém o histograma da distribuição da diferença da pressão máxima do centro do ASAS entre os dados do ECMWF e ECHAM5/MPI (A1B\_run1, A1B\_run3, A2\_run1, A2\_run3, B1\_run1 e B2\_run3) para o período de intersecção das séries de dados, que é entre 2000 e 2010. Observa-se que, para todos os diferentes cenários de aquecimento global, também é observada uma distribuição Gaussiana: em torno de 80% dos dados o erro do modelo ECHAM5/MPI em relação ao ECMWF foi de -3hPa e 3hPa na pressão do centro ASAS. A **Tabela 7.2** contém o cálculo do REQM e do BIAS para a variação da pressão central do ASAS. Observa-se que, para todas as simulações do ECHAM 5/MPI, o erro médio na intensidade do ASAS foi em torno de 3 hPa para mais ou para menos. Já o BIAS concordou com os resultados encontrados na **Tabela 7.1**, as simulações A1B\_run3 e A2\_run1 apresentaram valores positivos próximos de 2 hPa, e as simulações A1B\_run1, A2\_run3, B1\_run1 e B1\_run3, valores negativos em torno de -2 hPa. Foi observado anteriormente, no Capítulo 4, que, nos meses em que o ASAS está deslocado para norte, a pressão máxima do seu centro é maior e quando o ASAS está deslocado para sul, o padrão se inverte. Como nas simulações A1B\_run1 e A2\_run1 o ASAS estava com um BIAS negativo configurando-o mais a norte, a pressão máxima do centro do anticiclone se apresentou maior nestas duas simulações.

De maneira geral todas as simulações do ECHAM5/MPI conseguiram representar razoavelmente bem o deslocamento do ASAS. Na variação latitudinal do ASAS e na pressão máxima do seu centro, o modelo conseguiu apresentar resultados melhores, mas para a variação longitudinal do ASAS o ECHAM5/MPI teve dificuldade em simular o comportamento do ASAS.

### Comparação ECMWF e ECHAM5/MPI – Variação Latitudinal do ASAS



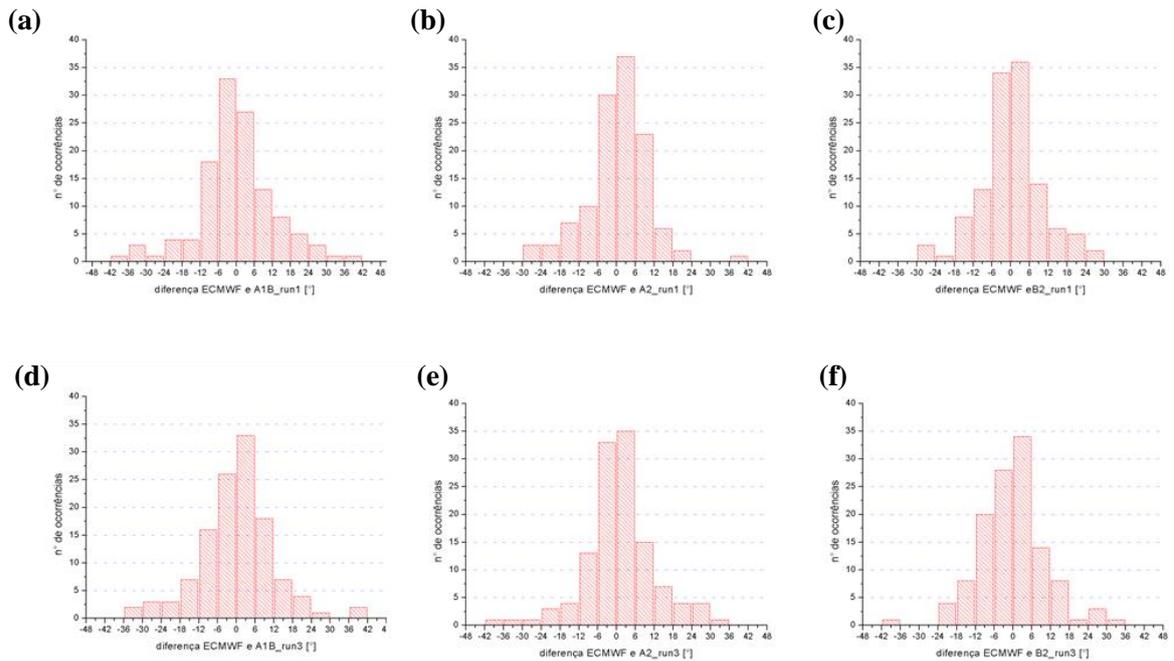
**Figura 7.1** – Histograma da diferença da posição latitudinal mensal do ASAS entre o ECMWF e ECHAM5/MPI (diversos cenários) para o período de 2001-2010. (a) A1B\_run1, (b) A1B\_run3, (c) A2\_run1, (d) A2\_run3, (e) B1\_run1 e (f) B1\_run3.

**Tabela 7.1** – Valores de REQM e BIAS obtidos comparando os resultados da variação latitudinal do ASAS após o seu rastreamento com os dados do ECMWF e diferentes cenários do ECHAM5/MPI para o período de 2000 até 2010.

ECHAM5/MPI – Variação latitudinal do ASAS		
Simulação	REQM	BIAS
A1B_run1	4,42	-2,65
A1B_run3	4,24	2,61
A2_run1	4,55	3,03
A2_run3	4,36	-3,06
B1_run1	4,43	-2,49
B1_run3	4,23	-2,30



### Comparação ECMWF e ECHAM5/MPI – Variação Longitudinal do ASAS

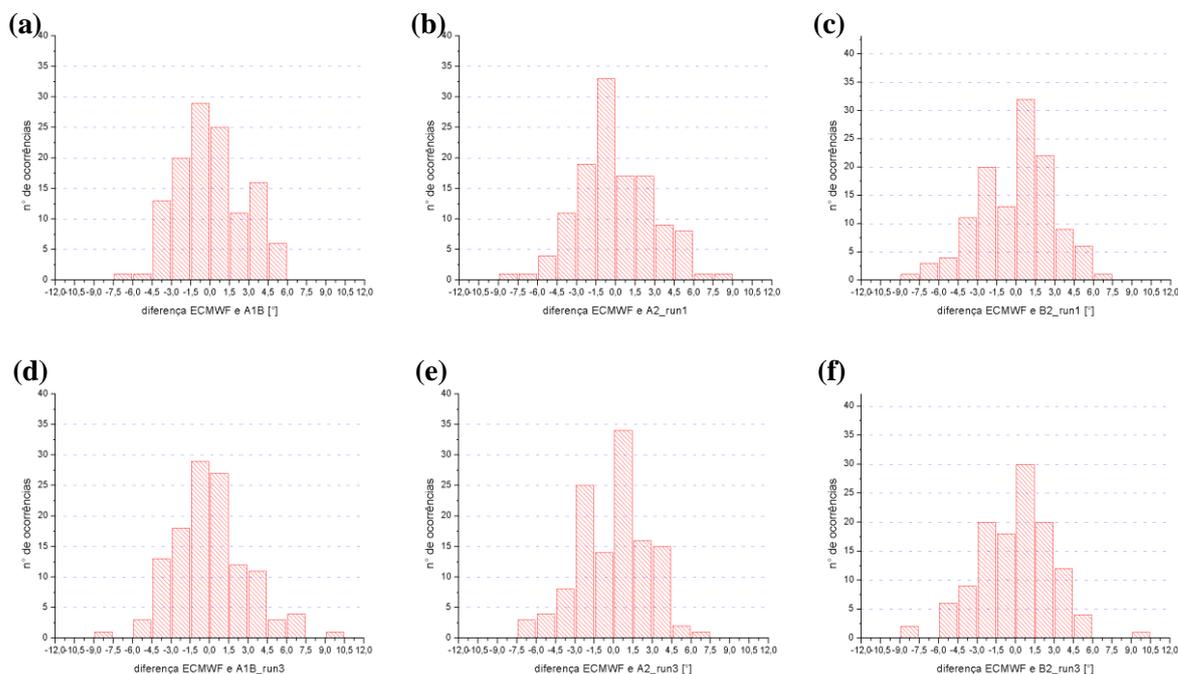


**Figura 7.2** – Histograma da diferença da posição longitudinal mensal do ASAS entre o ECMWF e ECHAM5/MPI (diversos cenários) para o período de 2001-2010. (a) A1B\_run1, (b) A1B\_run3, (c) A2\_run1, (d) A2\_run3, (e) B1\_run1 e (f) B1\_run3.

**Tabela 7.2** – Valores de REQM e BIAS obtidos comparando-se os resultados da variação longitudinal do ASAS após o seu rastreamento com os dados do ECMWF e diferentes cenários do ECHAM5/MPI para o período de 2000 até 2010.

ECHAM5/MPI – Variação longitudinal do ASAS		
Simulação	REQM	BIAS
A1B_run1	12,75	-1,04
A1B_run3	11,81	1,20
A2_run1	10,23	0,16
A2_run3	11,70	-0,67
B1_run1	10,19	-1,22
B1_run3	10,67	-0,34

### Comparação ECMWF e ECHAM5/MPI – Variação da pressão no centro do ASAS



**Figura 7.3** – Histograma da diferença da pressão central média mensal do ASAS entre o ECMWF e ECHAM5/MPI (diversos cenários) para o período de 2001-2010. (a) A1B\_run1, (b) A1B\_run3, (c) A2\_run1, (d) A2\_run3, (e) B1\_run1 e (f) B1\_run3.

**Tabela 7.3** – Valores de REQM e BIAS obtidos comparando-se os resultados da variação da pressão central do ASAS após o seu rastreamento com os dados do ECMWF e diferentes cenários do ECHAM5/MPI para o período de 2000 até 2010.

ECHAM5/MPI – Variação da pressão central do ASAS		
Simulação	REQM	BIAS
A1B_run1	3,22	-1,92
A1B_run3	3,44	1,81
A2_run1	3,32	1,61
A2_run3	3,15	-1,60
B1_run1	3,29	-1,59
B1_run3	3,70	-2,30

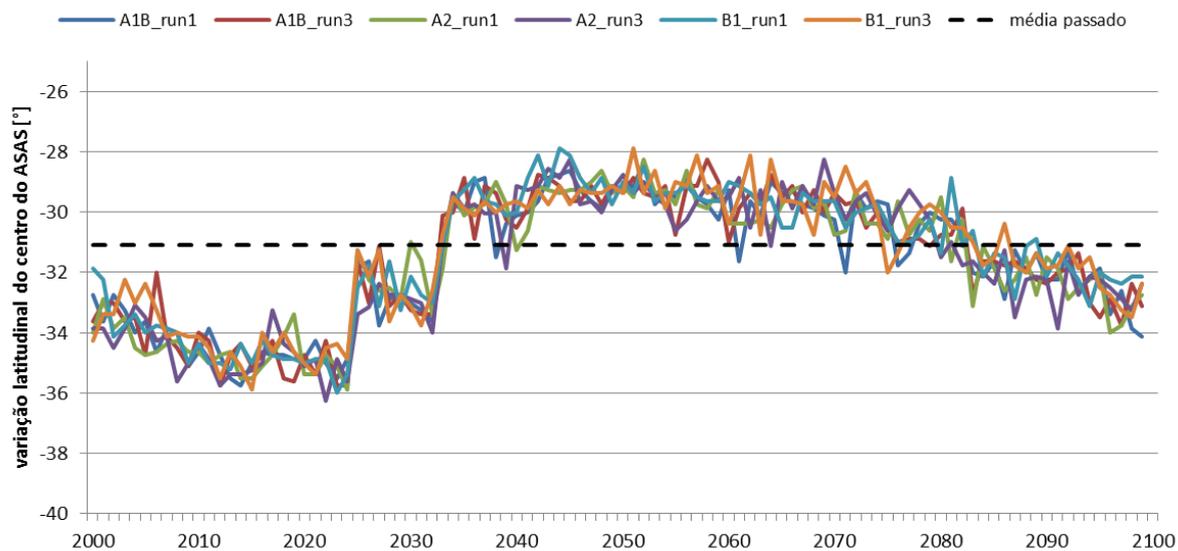
A **Figura 7.4** contém os valores de latitude obtidos pelo rastreamento do ASAS para os dados do ECHAM5/MPI entre 2000 e 2100. Observa-se que, em todos os diferentes cenários de aquecimento global, o comportamento do ASAS é parecido em toda a série histórica. Entre o ano de 2010 e meados de 2030 observa-se que o ASAS aparentemente tenderá a estar deslocado para sul em relação a sua posição média entre o período de 1989-2010. Já para o resto do período, o ASAS tenderá a ficar próximo da posição climatológica, mas ligeiramente a norte. Seth et. al (2010) através de nove modelos climáticos relacionados ao CMIP3 estudou diversas variáveis meteorológicas para três regiões da América do Sul. Dentre diversos resultados encontrados, ao comparar o final do século XXI com o final do século XX, foi observado que o ASAS se desloca para sul. Analisando visualmente a **Figura 7.4**, são encontrados os mesmos resultados. A posição do ASAS no final do século XXI é mais ao sul do que a posição do ASA no final do século XX.

A **Figura 7.5** contém os valores de longitude obtidos para os dados do ECHAM5/MPI entre 2000 e 2100. Também se observa que, para todos os diferentes cenários de aquecimento global, o comportamento do ASAS é parecido em toda a série histórica. Em todo o período entre 2010 a 2100, o ASAS mostra um deslocamento a oeste da sua posição média entre 1989-2010, atingindo um pico máximo a oeste entre 2040 e 2050.

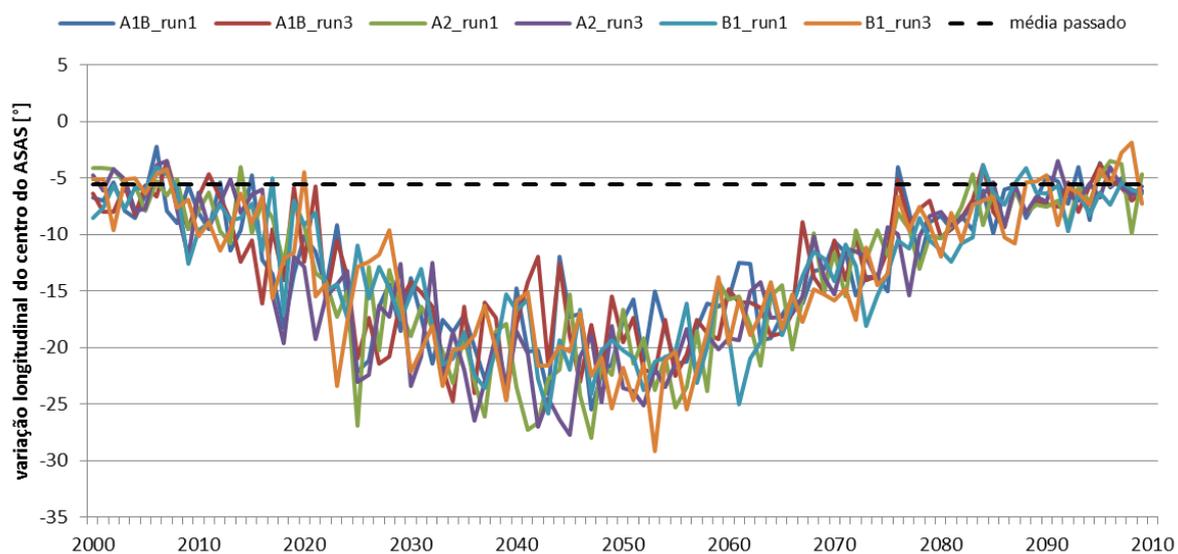
A **Figura 7.6** contém os valores de pressão do centro do ASAS obtidos para os dados do ECHAM5/MPI entre 2000 e 2100. Também se observa que, para todos os diferentes cenários de aquecimento global, o comportamento do ASAS é parecido em toda a série histórica. O seu comportamento é similar ao observado na **Figura 7.4**, entre 2010 e 2030 o ASAS se mostra enfraquecido; para o período de 2030 até 2090 o padrão se altera e o ASAS se encontra intensificado em relação aos valores médios obtidos entre o período de 1989-2010.

Sugere-se que nos próximos anos a tendência seja que o ASAS se desloque cada vez mais para oeste, fazendo com que a Região Nordeste do Brasil receba ventos mais intensos e a Região Sul e a parte sul da Região Sudeste se esquentem mais. Do ponto de vista da geração de energia eólica, esse resultado é importante, pois a Região Nordeste do Brasil possui grandes investimentos em projetos eólicos. Caso os ventos realmente se intensifiquem, a geração de energia através dos ventos seria maior e a geração eólica se consolidaria ainda mais como uma fonte de energia importante na matriz energética brasileira.

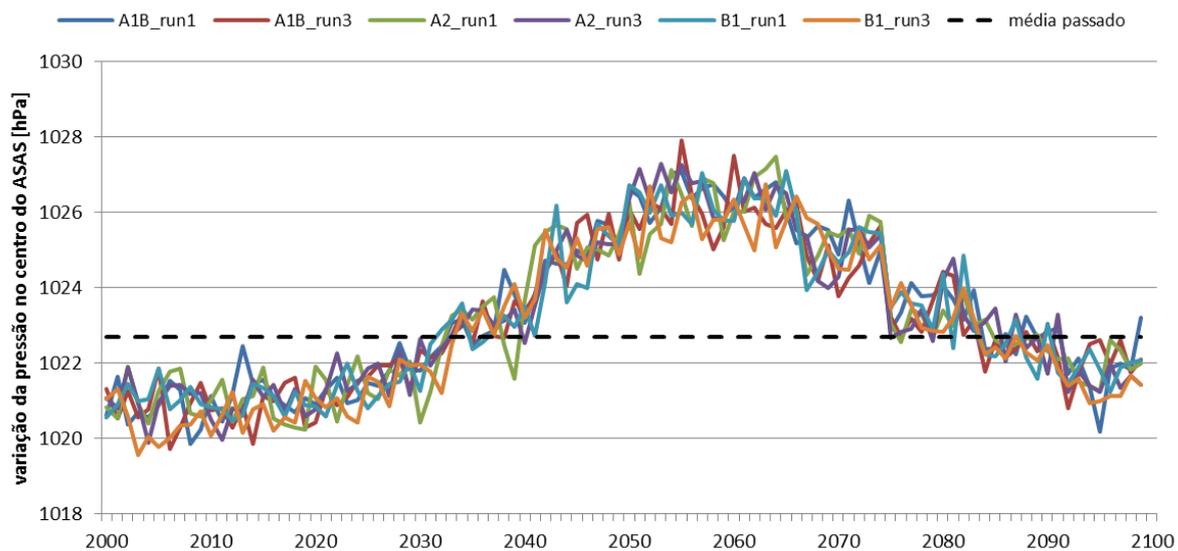
Esses resultados foram encontrados utilizando-se apenas um de diversos modelos climatológicos relacionados ao IPCC. Sugere-se fazer esse mesmo tipo de análise de rastreamento do ASAS utilizando mais modelos climáticos para realmente comprovar esta tendência de deslocamento para oeste do ASAS.



**Figura 7.4** – Variação média anual da variação latitudinal do ASAS para os diferentes cenários do modelo ECHAM5/MPI. A posição latitudinal média anual do ASAS (1989-2010) para os dados ECMWF é indicada pela linha pontilhada.



**Figura 7.5** – Variação média anual da variação longitudinal do ASAS para os diferentes cenários do modelo ECHAM5/MPI. A posição latitudinal média anual do ASAS (1989-2010) para os dados ECMWF é indicada pela linha pontilhada.



**Figura 7.6** – Variação média anual da pressão central do ASAS para os diferentes cenários do modelo ECHAM5/MPI. A posição latitudinal média anual do ASAS (1989-2010) para os dados ECMWF é indicada pela linha pontilhada.

## **8. DISCUSSÃO FINAL**

### **8.1 Sumário e Discussões Gerais do Trabalho**

Procurou-se entender o comportamento do ASAS por meio de uma descrição climática bastante detalhada em que foram analisadas diversas variáveis meteorológicas nas escalas inter-anual e intra-anual. Observou-se que ao longo do ano o ASAS se contrai e se expande de tamanho. Nos meses de novembro até maio, o anticiclone se encontra contraído e deslocado para o centro do OAS. Já nos meses de junho até outubro o ASAS se expande e adentra no continente sul-americano tendo uma maior influência no clima das regiões Sudeste e Nordeste.

Utilizou-se um procedimento automatizado baseado na procura de máximos de pressão para rastrear mensalmente a posição e a intensidade do ASAS para o período de 1989-2010. Dessa forma foi gerado um banco de dados da posição mês-a-mês do ASAS para o período. A variação mensal climatológica da posição do centro do anticiclone obtida neste trabalho é semelhante aos resultados de Machel et. al (1998), mas diferem dos encontrados por Hastenrath (1998). O ASAS se encontra mais a norte nos meses de inverno, em torno de 29°S, e se encontra mais a sul nos meses de fevereiro e março, 33°S. Em relação à posição longitudinal, observou-se uma oscilação com período de 6 meses. Nos meses de março, abril e outubro, o anticiclone esteve mais a oeste, próximo de 2°W. Em contrapartida, nos meses de fevereiro e agosto, o ASAS esteve mais a leste.

Ao longo de 22 anos (1989-2010) foram observados meses, de fevereiro até setembro, em que o ASAS apresentou uma grande variação longitudinal na sua posição. Em contrapartida, nos meses de outubro até janeiro, o ASAS não apresentou valores extremos em relação a sua posição longitudinal, ou seja, ao longo de 22 anos, nos meses de outubro a janeiro, o ASAS não apresentou grandes variações na sua posição longitudinal.

Foram feitas correlações entre a posição longitudinal do ASAS e diversas variáveis meteorológicas para toda a região da AS e do OAS. O objetivo foi destacar possíveis impactos da variação longitudinal do ASAS no clima das regiões Sudeste e Nordeste do Brasil. Encontrou-se que, quando o ASAS está deslocado para oeste da sua posição climatológica, foi observada uma intensificação dos ventos alísios em toda a Região Nordeste do Brasil, principalmente nos meses de primavera e verão. Em contrapartida, quando o ASAS está

deslocado para leste da sua posição climatológica, foi observado um enfraquecimento dos ventos alísios na Região Nordeste. Também foi notado que, quando o ASAS se encontra deslocado para oeste, a região da costa do NEB se esfria (principalmente nos meses de primavera e verão) e a Região Sul e parte da Região Sudeste esquenta, e quando o ASAS se encontra deslocado para leste, o padrão se inverte.

Foi realizado um estudo de caso para os meses de setembro de 1993 e setembro de 2007, meses em que o ASAS esteve deslocado para leste e oeste da sua posição climatológica, respectivamente. Os resultados encontrados confirmaram as correlações obtidas para a variação longitudinal do ASAS. No mês de setembro de 2007, quando o ASAS esteve a oeste, foram observados ventos mais intensos em todo o NEB e uma anomalia positiva da temperatura do ar a 2m do solo na Região Sul e parte da Região Sudeste. Em setembro de 1993 o ASAS esteve deslocado a leste e foram observados ventos mais fracos em toda a região NEB, e em parte da Região Sul e Sudeste do Brasil foram observadas anomalias negativas de temperatura do ar a 2m.

Também foi avaliada a variação do ASAS em cenários futuros de aquecimento global. Foi feito o rastreamento do anticiclone para os dados do ECHAM5/MPI para três diferentes cenários de aquecimento global entre os anos 2000 e 2100. Observou-se que a tendência ao longo do século XXI é que o ASAS se desloque para oeste da sua posição climatológica atingindo a sua posição mais a oeste na década de 2050, o que indica uma tendência de aumento na velocidade do vento na região NEB e um aumento na temperatura do ar na Região Sul e na parte sul da Região Sudeste do Brasil.

## 8.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Várias sugestões podem ser citadas para a realização de trabalhos futuros, das quais se destacam as seguintes:

- Verificar a influência de teleconexões na posição do ASAS. Como o fenômeno ENOS altera a circulação atmosférica em escala global (Grimm et al., 1998; Grimm et al., 2000; Magaña e Ambrizzi, 2005), é interessante saber se ele influencia a posição e intensidade do ASAS.
- O Modo Anular Sul (MAS) é o principal modo de variabilidade da circulação atmosférica no Hemisfério Sul e apresenta perturbações na altura geopotencial de sinais opostos entre a Antártica e as latitudes médias (Thompson e Wallace, 2000; Carvalho et al 2005). Reboita et al. (2009b) verificaram que na fase negativa do MAS (anomalias negativas de geopotencial em latitudes médias e positivas na Antártica) há mais atividade ciclônica entre as latitudes do extremo sul do Brasil e sul da Argentina e mais atividade anticiclogênica próximo à costa do sudeste do Brasil. É interessante investigar se o MAS possui alguma relação com a posição e a intensidade do ASAS.
- É interessante correlacionar a posição e a intensidade do ASAS com mais variáveis meteorológicas, como por exemplo TSM.
- Com relação à variabilidade do ASAS em cenários futuros, sugere-se repetir a análise feita neste trabalho utilizando uma base de dados “*multi-model*” do CMIP5 para compreender a variação do ASAS em cenários futuros.

## 9. Referências Bibliográficas

- BARBOSA, H. A. Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85. 1999. 164 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.
- BASTOS, C.; FERREIRA, N. Análise Climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2000. Anais. Rio de Janeiro, p. 612-619, 2000.
- CARDOSO A. O.; MENDONÇA A.M.; ARAVÉQUIA J.A.; BONATTI J.P.; SILVA DIAS P.L. Correção estatística das previsões de tempo por conjunto do MGCA CPTEC/COLA através da remoção do viés. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis-SC, 2006.
- CARVALHO, L. V.; JONES, C.; AMBRIZZI, T., 2005: Opposite phases of the Antarctic Oscillation and Relationships with Intraseasonal to Interannual activity in the Tropics during the Austral Summer. *Journal of Climate*, Estados Unidos, v. 18, n. 3, p. 702-718.
- CUPOLILLO, F. Períodos de estiagem durante a estação chuvosa no estado de Minas Gerais: espacialização e aspectos dinâmicos relacionados. 1997. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- CURRY, J., 1983. On the formation of continental polar air. *J. Atmos. Sci.*, 40: 2278-2292.
- DAVIS, R.E., B.P. HAYDEN, D.A. Gay, W.L. Phillips e G.V. Jones, 1997: The North Atlantic Subtropical Anticyclone. *J. of Climate*, 10, 728-744.

- DEE, D. P., WITH 35 CO-AUTHORS, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 137, 553-597.
- FERREIRA, E. A.; MELO, M. L.; ALMEIDA, J. M. V.; BEZERRA, W. A.; REINKE, C. K.; SEABRA, M. S. Estudo de Caso: Configuração da atmosfera na ocorrência de baixo índice de umidade relativa do ar no Centro-Oeste do Brasil. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2006. Anais... Florianópolis: XIV CBMet, 2006.
- GRIMM, A.M; AMBRIZZI, T., 2009: Teleconnections into South America from the Tropics and Extratropics on Interannual and Intraseasonal Timescales. In: Françoise Vimeux; Florence Sylvestre; Myriam Khodri. (Org.). *Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions*. Netherlands: Springer Netherlands, v. 14, p. 159-191.
- HASTENRATH, S., 1985: *Climate and Circulation of the Tropics*. D. Reidel Publish. Co., 455 pp.
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 103, 77-92, 1977.
- ITO, E. R. K.; AMBRIZZI, T. Climatologia da posição da alta subtropical do atlântico sul para os meses de inverno. In: XI CONGRESSO LATINOAMERICANO E IBERICO DE METEOROLOGIA, 2000, Rio de Janeiro. *A Meteorologia Brasileira além do ano 2000*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. p. 860-865.
- ITO, E. R. K.; AMBRIZZI, T. Um estudo Climatológico do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e sua influência em Sistemas Frontais, 1999. 126. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- KALNAY ET AL., The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-470, 1996.

- LAMBERT, S. J., 1988: A cyclone climatology of the Canadian Climate Centre general circulation model. *J. Climate*, 1, 109-115.
- MACHEL, H., A. KAPALA, e H. FLOHN, 1998: Behaviour of the Centres of Action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability. *Int.J.Climatology*, 18, 1-22.
- MARSLAND, S J, H. HAAK, J. H. JUNGCLAUS, M LATIF, AND F. ROSKE 2003: The Max-Planck-Institute global ocean/sea ice model with orthogonal curvilinear coordinates. *Ocean Modell.*, 5, 91–127. [CrossRef]
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O.; OLIVEIRA, C. P. Variabilidade da Circulação da Grande Escala Sobre o Atlântico Subtropical. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2004, Fortaleza. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.
- MOREIRA, J. L. B. Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno. 2002. 109 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, IGC, Belo Horizonte, MG. 2002.
- MOSCATI, M. C. L., 1991: Variabilidade da Precipitação no Litoral Leste da Região Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, INPE-5283-TDI/453.
- MURRAY, R. J. and I. SIMMONDS, 1991a: A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: development and operation of the scheme. *Aust. Met. Mag.*, 39, 155-166.
- MURRAY, R. J. and I. SIMMONDS, 1991b: A numerical scheme for tracking cyclone centers from digital data. Part II: Application to January and July general circulation model simulations. *Aust. Met. Mag.*, 39, 167-180.

- MUSK, L. Weather Systems. Cambridge University Press, 1988.
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- PADILHA REINKE, C. K.; SATYAMURTY, P. Um Caso de Estagnação de Ar Quente e Seco sobre a Região Central do Brasil. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2004, Fortaleza. Anais... Fortaleza, 2004.
- PAIVA, M. P. Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranico na bacia do rio Doce. 1997. 65 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- PRATES, J. E. Controles associados à distribuição espacial de precipitação no verão em Minas Gerais: aspectos fisiográficos e meteorológicos. São Paulo, USP, 1994. 160p. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) - Universidade de São Paulo, 1994.
- REBOITA, M. S.; M. A. GAN; R. P. DA ROCHA; T. AMBRIZZI, 2010: Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, 185-204.
- REBOITA, M. S.; T. AMBRIZZI; R. P. DA ROCHA, 2009b: Relationship between the Southern Annular Mode and Southern Hemisphere Atmospheric Systems. Revista Brasileira de Meteorologia, 24, (1), 48-55.
- ROECHNER E, BAUML G, BONAVENTURA L, BROKOPF R, ESCH M, GIORGETTA M, HAGEMANN S, KIRCHNER I, KORNBLUEH L, MANZINI E, RHODIN A, SCLESE U, SCHULZWEIDA U, TOMPKINS A (2003) The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: model description. Max Planck Institute for Meteorology, Rep. 349, 127 pp (Available from MPI for Meteorology, Bundesstr. 53, Hamburg, Germany)

- A. SETH, M. ROJAS and S. A. RAUSCHER, “CMIP3 Projected Changes in the Annual Cycle of the South American Monsoon,” *Climatic Change*, Vol. 98, No. 3-4, 2010, pp. 331-357. doi:10.1007/s10584-009-9736-6
- SILVA DIAS, P.; MARENGO, J. A. Águas atmosféricas. In: Rebouças, A. da C.; Braga Jr.,B.; Tundisi, J. G. (ed.) *Águas doces no Brasil - capital ecológico, usos múltiplos e exploração racional e conservação*. 2ns Ed. IEA/USP, 2002. p.65-116
- SINCLAIR, M. R. 1994: An objective cyclone climatology of Southern Hemisphere. *M.W.R.*, 122, 2239-2256.
- \_\_\_\_\_, M. R. 1995: A climatology of cyclogenesis for the Southern Hemisphere. *M.W.R.*, 123, 1601-1619.
- \_\_\_\_\_, M. R. 1996: A climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere. *M.W.R.*, 124, 245-263.
- SUGAHARA, S. 2000: Variação Anual da Frequência de Ciclones no Atlântico Sul. In: *Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Meteorology*, 11, Rio de Janeiro
- TEISSERENG DE BORT, L., 1883: Etude sur l’hiver de 1879-80 et recherches sur La position dès centres d’action de l’atmosphère dans les hivers anormaux. *Bureau Central Meteor. De la France, Annales*, 4, 17-62.
- THOMPSON, D. W. J.; J. M. WALLACE, 2000: Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability, *J. Climate*, 13, 1000– 1016.
- VAN LOON, H. 1956: Blocking action in the Southern Hemisphere. *Notos*, 5, 171-178.
- VAREJÃO-SILVA, M. A., 2000: *Meteorologia e Climatologia*. Stilo, Brasília, INMET, 532 p.

- VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G, Estudo Preliminar da Climatologia Dinâmica do Estado de Minas Gerais. In: I CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1986. Brasília. Anais I. p. 185-194.
- VIANELLO. R.L. & A.R. ALVES. 1991. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa. Imprensa Universitária. 449p
- WEXLER, H., 1936: Cooling in the lower atmosphere and the structure of polar continental air. *Mon. Wea. Rev.*, 64, 122-136., 1937: Formation of polar anticyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 65, 229-236.
- WRIGHT, A.D.F 1974: Blocking Action in the Australian region. Tech. Report 10., Bur. Met., Australia, 29 pp.

## 10. Apêndice

mês	Posição latitudinal do ASAS [°]	Posição longitudinal do ASAS [°]	Pressão central do ASAS. [hPa]
jan/89	-31,5	0,0	1018,1
fev/89	-30,0	-9,0	1019,5
mar/89	-33,0	1,5	1019,8
abr/89	-34,5	1,5	1022,5
mai/89	-30,0	-16,5	1020,8
jun/89	-31,5	-3,0	1026,4
jul/89	-28,5	0,0	1024,5
ago/89	-28,5	-16,5	1025,1
set/89	-28,5	-1,5	1021,0
out/89	-31,5	0,0	1025,4
nov/89	-30,0	-3,0	1023,2
dez/89	-31,5	-12,0	1023,4
jan/90	-30,0	-7,5	1020,3
fev/90	-39,0	7,5	1019,5
mar/90	-34,5	4,5	1021,1
abr/90	-28,5	-18,0	1019,3
mai/90	-30,0	1,5	1021,0
jun/90	-31,5	-3,0	1026,4
jul/90	-27,0	-13,5	1025,1
ago/90	-31,5	1,5	1026,7
set/90	-34,5	4,5	1024,8
out/90	-31,5	-12,0	1026,1
nov/90	-31,5	1,5	1021,9
dez/90	-28,5	-10,5	1020,4
jan/91	-33,0	-12,0	1022,7
fev/91	-28,5	-13,5	1019,6
mar/91	-33,0	0,0	1021,3
abr/91	-30,0	3,0	1019,5
mai/91	-30,0	-30,0	1020,9
jun/91	-28,5	-16,5	1025,1
jul/91	-30,0	-7,5	1026,0
ago/91	-30,0	-9,0	1027,8
set/91	-27,0	-4,5	1023,5
out/91	-31,5	-1,5	1024,6
nov/91	-31,5	0,0	1023,5
dez/91	-30,0	-1,5	1019,0
jan/92	-31,5	-3,0	1023,0
fev/92	-31,5	-19,5	1021,0

**Tabela 10.1** – Valores de saída obtidos do algoritmo de rastreamento do ASAS para os dados do ECMWF.

mar/92	-30,0	-19,5	1022,3
abr/92	-30,0	3,0	1019,8
mai/92	-30,0	-1,5	1022,8
jun/92	-28,5	-10,5	1024,3
jul/92	-27,0	-9,0	1025,5
ago/92	-31,5	1,5	1027,5
set/92	-33,0	-15,0	1027,1
out/92	-30,0	-6,0	1023,6
nov/92	-31,5	0,0	1023,0
dez/92	-28,5	-6,0	1020,8
jan/93	-31,5	1,5	1019,9
fev/93	-33,0	-22,5	1020,1
mar/93	-31,5	4,5	1019,1
abr/93	-34,5	-3,0	1021,6
mai/93	-33,0	-15,0	1021,3
jun/93	-28,5	-3,0	1023,9
jul/93	-25,5	-7,5	1023,1
ago/93	-30,0	3,0	1023,9
set/93	-31,5	9,0	1022,0
out/93	-30,0	1,5	1022,1
nov/93	-31,5	-9,0	1021,2
dez/93	-33,0	-3,0	1024,0
jan/94	-33,0	-1,5	1020,0
fev/94	-34,5	-1,5	1021,5
mar/94	-33,0	1,5	1020,2
abr/94	-34,5	-1,5	1020,3
mai/94	-28,5	-13,5	1022,9
jun/94	-28,5	-7,5	1027,1
jul/94	-30,0	-7,5	1027,9
ago/94	-33,0	4,5	1025,4
set/94	-30,0	-30,0	1023,0
out/94	-31,5	3,0	1023,2
nov/94	-28,5	-7,5	1022,2
dez/94	-28,5	-7,5	1021,8
jan/95	-30,0	-4,5	1020,5
fev/95	-31,5	-7,5	1019,4
mar/95	-34,5	0,0	1022,0
abr/95	-36,0	3,0	1022,7
mai/95	-31,5	-3,0	1022,6
jun/95	-28,5	-10,5	1023,7
jul/95	-28,5	-15,0	1026,7
ago/95	-27,0	-9,0	1023,4
set/95	-28,5	-7,5	1025,8
out/95	-28,5	-6,0	1022,8

**Tabela 10.1** – Continuação.

nov/95	-33,0	0,0	1024,7
dez/95	-34,5	3,0	1022,3
jan/96	-33,0	-12,0	1020,5
fev/96	-34,5	-4,5	1020,3
mar/96	-36,0	4,5	1020,3
abr/96	-31,5	1,5	1019,5
mai/96	-27,0	-1,5	1019,4
jun/96	-25,5	-6,0	1022,3
jul/96	-30,0	-1,5	1026,1
ago/96	-27,0	-31,5	1022,6
set/96	-28,5	-16,5	1025,9
out/96	-33,0	-4,5	1026,4
nov/96	-31,5	-4,5	1023,4
dez/96	-30,0	0,0	1021,7
jan/97	-31,5	-3,0	1022,1
fev/97	-34,5	-15,0	1026,2
mar/97	-33,0	-3,0	1022,4
abr/97	-33,0	-3,0	1023,5
mai/97	-30,0	0,0	1022,8
jun/97	-24,0	-3,0	1019,9
jul/97	-31,5	1,5	1027,2
ago/97	-30,0	0,0	1025,2
set/97	-33,0	6,0	1022,5
out/97	-33,0	4,5	1022,9
nov/97	-28,5	-3,0	1020,5
dez/97	-30,0	-1,5	1021,8
jan/98	-33,0	-3,0	1023,2
fev/98	-34,5	3,0	1021,7
mar/98	-33,0	1,5	1021,2
abr/98	-31,5	7,5	1019,2
mai/98	-25,5	-4,5	1020,5
jun/98	-28,5	4,5	1022,5
jul/98	-31,5	-7,5	1028,4
ago/98	-28,5	-18,0	1026,1
set/98	-31,5	-6,0	1025,8
out/98	-31,5	-3,0	1025,9
nov/98	-31,5	-1,5	1024,5
dez/98	-31,5	-3,0	1022,4
jan/99	-31,5	-1,5	1020,4
fev/99	-33,0	-10,5	1020,9
mar/99	-30,0	-3,0	1019,4
abr/99	-34,5	1,5	1021,5
mai/99	-31,5	-3,0	1021,3
jun/99	-27,0	-24,0	1020,4

**Tabela 10.1** – Continuação.

jul/99	-27,0	-24,0	1025,2
ago/99	-27,0	-9,0	1025,0
set/99	-30,0	-7,5	1025,6
out/99	-33,0	1,5	1024,4
nov/99	-31,5	-6,0	1022,5
dez/99	-33,0	-4,5	1022,8
jan/00	-34,5	0,0	1020,7
fev/00	-34,5	-9,0	1022,1
mar/00	-36,0	3,0	1022,5
abr/00	-34,5	4,5	1021,9
mai/00	-28,5	0,0	1021,8
jun/00	-27,0	-3,0	1021,8
jul/00	-28,5	-9,0	1024,1
ago/00	-30,0	-3,0	1026,6
set/00	-31,5	-16,5	1026,9
out/00	-33,0	3,0	1024,5
nov/00	-28,5	-9,0	1021,2
dez/00	-31,5	-4,5	1022,0
jan/01	-33,0	-12,0	1021,2
fev/01	-34,5	1,5	1020,3
mar/01	-31,5	-15,0	1020,8
abr/01	-36,0	4,5	1021,2
mai/01	-39,0	-28,5	1020,4
jun/01	-27,0	-13,5	1024,3
jul/01	-30,0	-7,5	1026,0
ago/01	-33,0	-25,5	1030,6
set/01	-30,0	-6,0	1025,2
out/01	-36,0	-10,5	1024,7
nov/01	-33,0	-1,5	1023,2
dez/01	-31,5	-10,5	1022,4
jan/02	-30,0	-10,5	1021,2
fev/02	-34,5	-10,5	1022,0
mar/02	-30,0	1,5	1019,8
abr/02	-30,0	-34,5	1016,9
mai/02	-28,5	-7,5	1022,6
jun/02	-30,0	-4,5	1027,5
jul/02	-28,5	0,0	1023,8
ago/02	-28,5	-15,0	1027,2
set/02	-33,0	4,5	1022,6
out/02	-28,5	-10,5	1021,9
nov/02	-31,5	0,0	1024,7
dez/02	-31,5	3,0	1020,3
jan/03	-30,0	0,0	1020,4

**Tabela 10.1 – Continuação.**

fev/03	-31,5	-22,5	1019,1
mar/03	-30,0	-4,5	1020,5
abr/03	-31,5	6,0	1018,9
mai/03	-33,0	4,5	1023,3
jun/03	-33,0	7,5	1024,8
jul/03	-30,0	3,0	1024,6
ago/03	-27,0	-6,0	1023,7
set/03	-28,5	0,0	1022,9
out/03	-33,0	-15,0	1023,0
nov/03	-31,5	-7,5	1022,7
dez/03	-31,5	-4,5	1022,9
jan/04	-33,0	-4,5	1022,4
fev/04	-31,5	-7,5	1021,6
mar/04	-31,5	-7,5	1022,5
abr/04	-30,0	-15,0	1021,1
mai/04	-34,5	7,5	1022,1
jun/04	-27,0	-7,5	1024,8
jul/04	-34,5	-3,0	1026,8
ago/04	-28,5	-6,0	1025,6
set/04	-33,0	3,0	1024,9
out/04	-31,5	-6,0	1024,7
nov/04	-28,5	-6,0	1021,6
dez/04	-28,5	-10,5	1019,7
jan/05	-33,0	-3,0	1021,6
fev/05	-33,0	-7,5	1022,1
mar/05	-34,5	-1,5	1021,7
abr/05	-31,5	-4,5	1021,5
mai/05	-30,0	-10,5	1023,3
jun/05	-28,5	-13,5	1024,0
jul/05	-30,0	4,5	1023,8
ago/05	-28,5	-18,0	1027,0
set/05	-28,5	-3,0	1022,8
out/05	-28,5	-4,5	1023,5
nov/05	-31,5	-3,0	1023,0
dez/05	-33,0	-3,0	1022,0
jan/06	-31,5	-9,0	1020,6
fev/06	-31,5	-1,5	1018,5
mar/06	-37,5	-4,5	1024,2
abr/06	-36,0	-4,5	1024,4
mai/06	-30,0	1,5	1020,5
jun/06	-27,0	-18,0	1022,5
jul/06	-27,0	1,5	1023,2
ago/06	-28,5	-1,5	1025,4

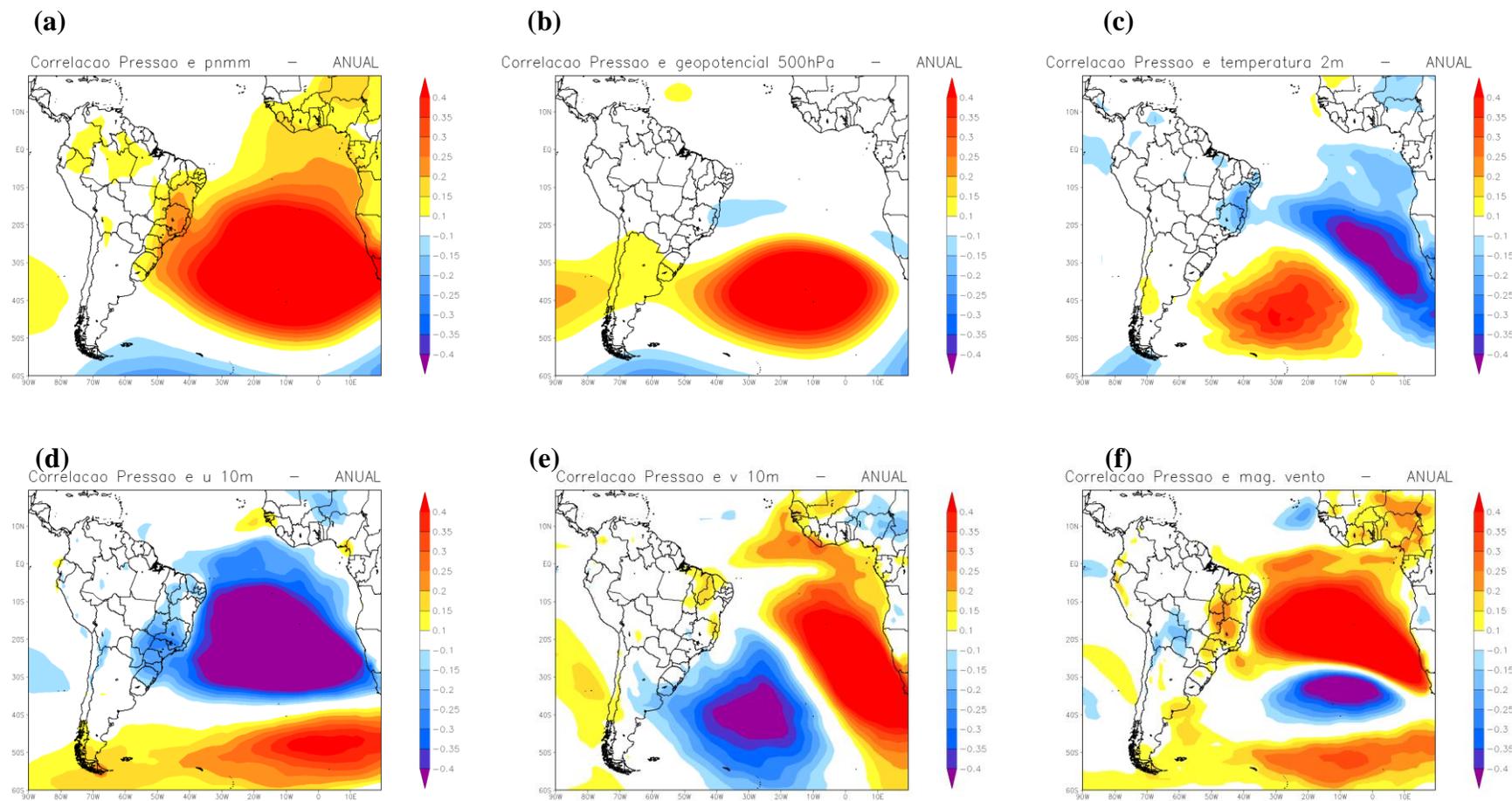
**Tabela 10.1 – Continuação.**

set/06	-31,5	0,0	1025,1
out/06	-31,5	0,0	1024,8
nov/06	-30,0	-7,5	1022,9
dez/06	-31,5	0,0	1021,4
jan/07	-30,0	-3,0	1020,8
fev/07	-31,5	-10,5	1022,2
mar/07	-33,0	0,0	1021,7
abr/07	-30,0	1,5	1020,2
mai/07	-30,0	4,5	1020,1
jun/07	-25,5	-13,5	1022,8
jul/07	-28,5	-6,0	1025,9
ago/07	-30,0	-24,0	1026,1
set/07	-30,0	-30,0	1025,3
out/07	-34,5	1,5	1026,6
nov/07	-33,0	-7,5	1024,3
dez/07	-30,0	-6,0	1019,8
jan/08	-34,5	-3,0	1022,1
fev/08	-33,0	-1,5	1021,0
mar/08	-36,0	7,5	1021,6
abr/08	-33,0	3,0	1021,1
mai/08	-24,0	-3,0	1017,8
jun/08	-28,5	3,0	1022,1
jul/08	-25,5	-9,0	1023,7
ago/08	-30,0	-16,5	1026,2
set/08	-25,5	-4,5	1022,7
out/08	-31,5	-1,5	1025,2
nov/08	-33,0	-1,5	1023,4
dez/08	-33,0	-4,5	1021,3
jan/09	-33,0	-4,5	1021,7
fev/09	-34,5	-3,0	1021,9
mar/09	-34,5	3,0	1020,4
abr/09	-33,0	3,0	1020,4
mai/09	-27,0	0,0	1019,4
jun/09	-30,0	-10,5	1023,5
jul/09	-30,0	-4,5	1026,2
ago/09	-27,0	-3,0	1024,0
set/09	-30,0	-1,5	1025,1
out/09	-34,5	4,5	1022,8
nov/09	-27,0	-3,0	1019,1
dez/09	-31,5	-4,5	1018,6
jan/10	-33,0	-3,0	1020,8
fev/10	-31,5	-12,0	1019,4
mar/10	-34,5	-1,5	1021,3

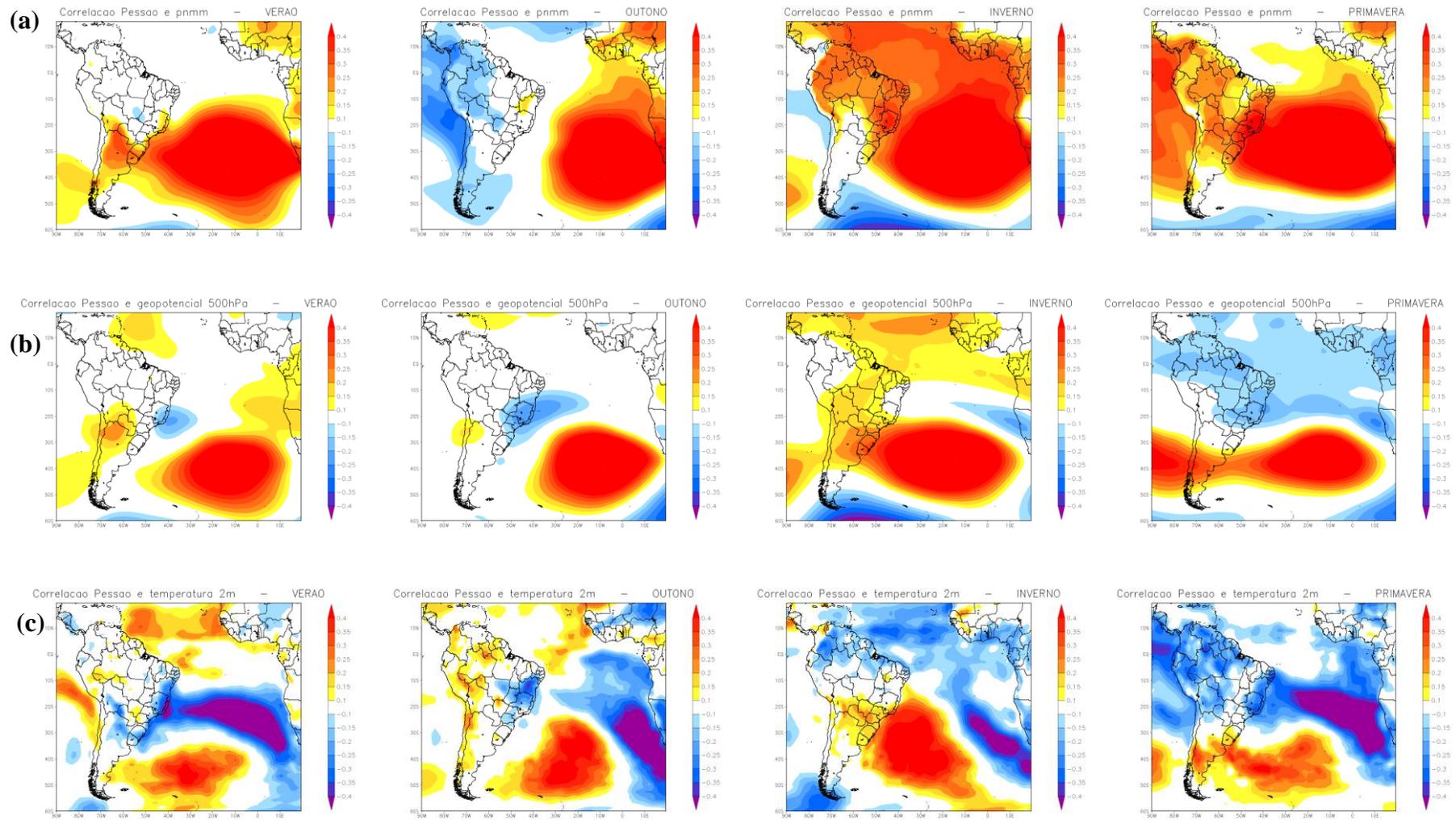
**Tabela 10.1 – Continuação**

abr/10	-33,0	-1,5	1023,0
mai/10	-34,5	-33,0	1020,0
jun/10	-30,0	4,5	1023,4
jul/10	-28,5	-25,5	1026,5
ago/10	-25,5	-13,5	1023,1
set/10	-28,5	-21,0	1025,3
out/10	-31,5	3,0	1022,1
nov/10	-33,0	-9,0	1022,5
dez/10	-39,0	6,0	1022,4

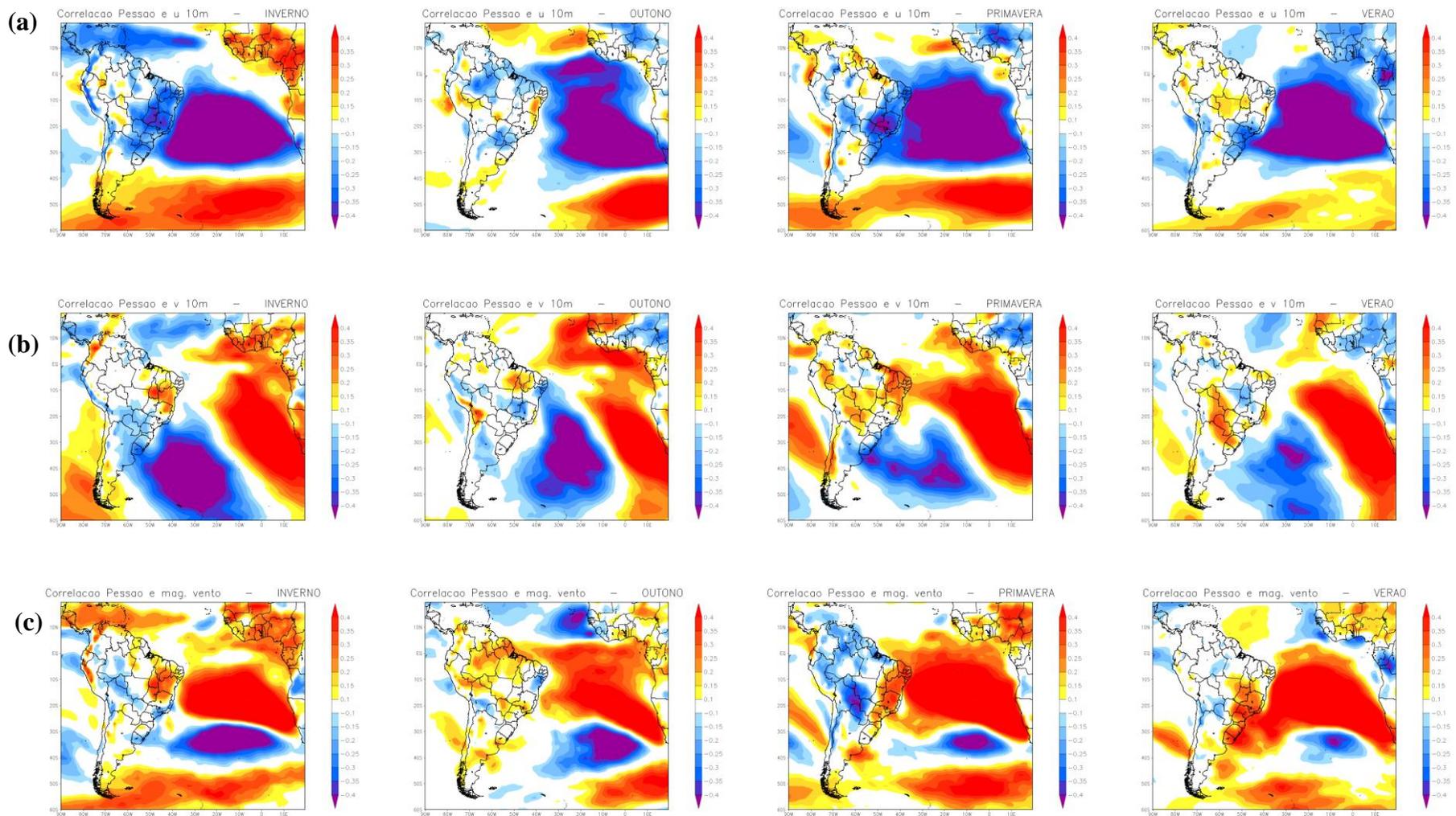
**Tabela 10.1** – Continuação.



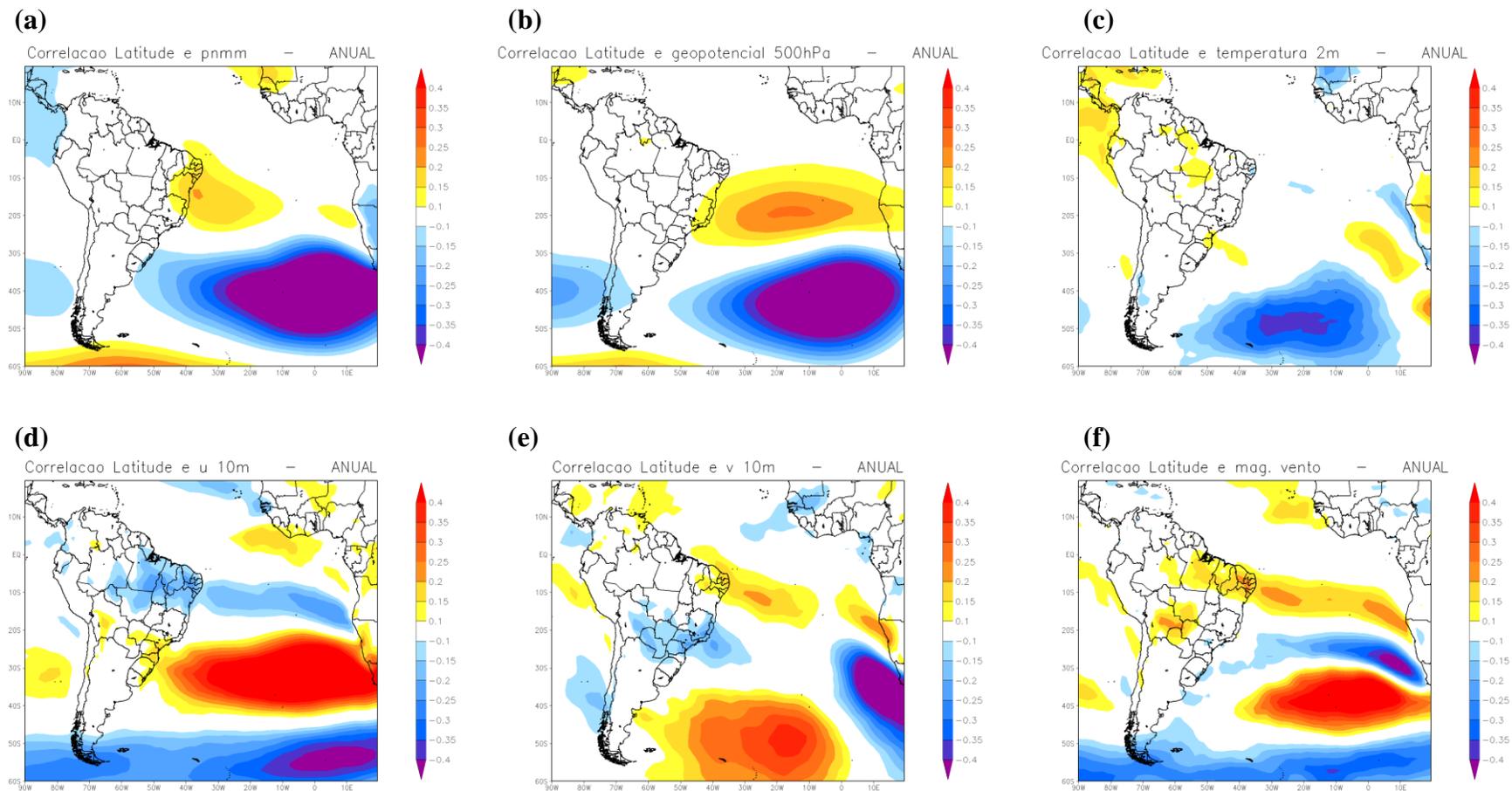
**Figura 10.1** – Correlação entre a variação mensal da pressão central do ASAS com a anomalia mensal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa, (c) Temperatura a 2m, (d) Vento zonal a 10m, (e) Vento meridional a 10m e (f) Magnitude do vento a 10m.



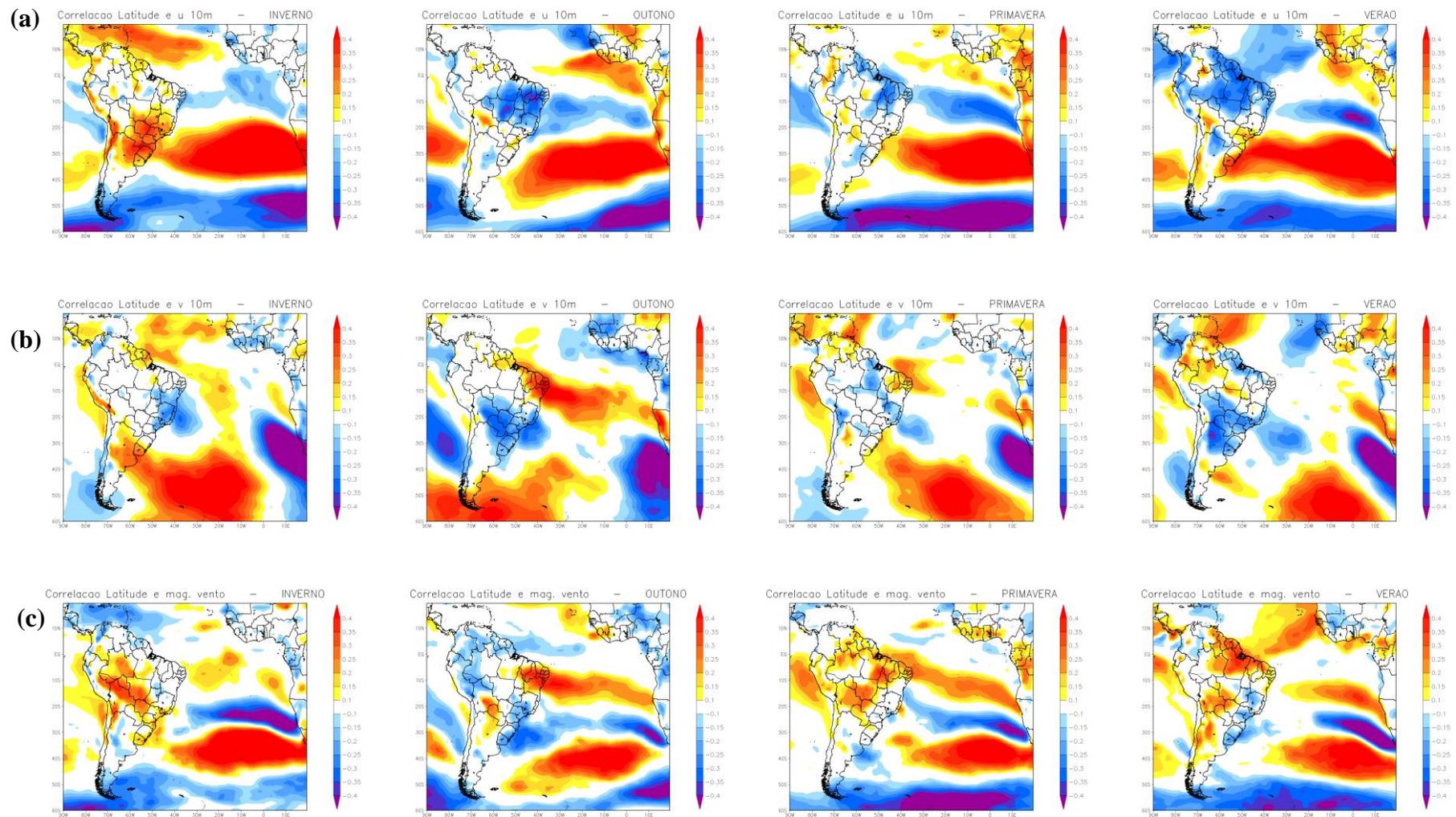
**Figura 10.2** – Correlação entre a média sazonal da pressão central do ASAS com a anomalia sazonal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa e (c) Temperatura a 2m



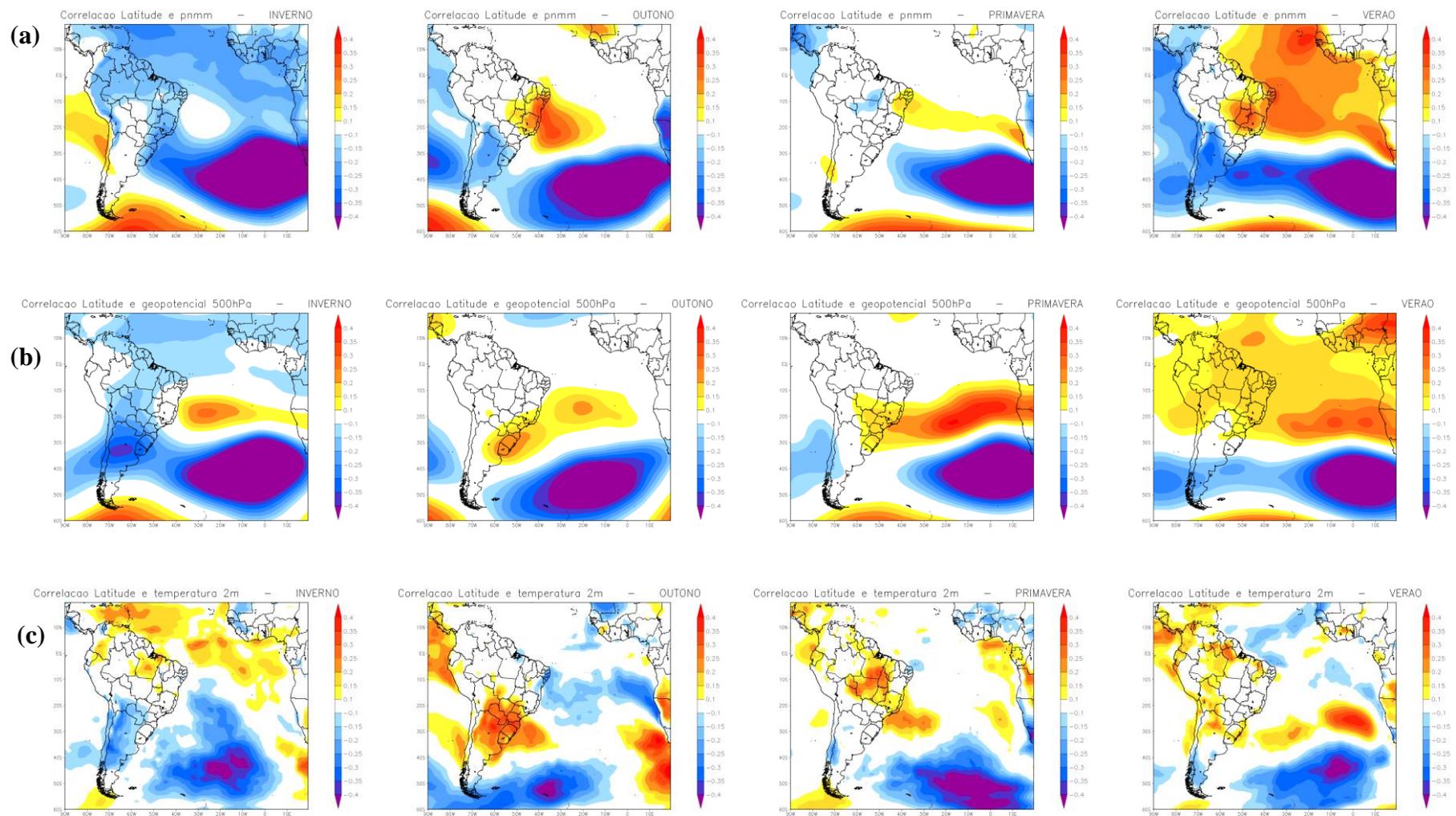
**Figura 10.3**– Correlação entre a média sazonal da variação da pressão central do ASAS com a anomalia sazonal da (a) vento zonal a 10m, (b) vento meridional a 10m e (c) magnitude do vento a 10m.



**Figura 10.4** – Correlação entre a variação mensal da pressão central do ASAS com a anomalia mensal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa, (c) Temperatura a 2m, (d) Vento zonal a 10m, (e) Vento meridional a 10m e (f) Magnitude do vento a 10m.



**Figura 10.5** – Correlação entre a média sazonal da variação longitudinal do ASAS com a anomalia sazonal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa e (c) Temperatura a 2m



**Figura 10.6** – Correlação entre a média sazonal da variação longitudinal do ASAS com a anomalia sazonal da (a) PNMM, (b) Geopotencial em 500hPa e (c) Temperatura 2m