



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
EVOLUÇÃO TEMPORAL DE PADRÕES ATMOSFÉRICOS
EM ANO CHUVOSO NA CIDADE DE SALVADOR
AUTORA: FERNANDA GONÇALVES ROCHA
MAIO DE 2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**EVOLUÇÃO TEMPORAL DE PADRÕES ATMOSFÉRICOS EM ANO CHUVOSO
NA CIDADE DE SALVADOR**

FERNANDA GONÇALVES ROCHA

CAMPINA GRANDE-PB
MAIO DE 2012

FERNANDA GONÇALVES ROCHA

**EVOLUÇÃO TEMPORAL DE PADRÕES ATMOSFÉRICOS EM ANO CHUVOSO
NA CIDADE DE SALVADOR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientadora: Maria Regina da Silva Aragão

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala

CAMPINA GRANDE-PB
MAIO DE 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

R582e Rocha , Fernanda Gonçalves.
Evolução temporal de padrões atmosféricos em ano chuvoso na cidade de Salvador / Fernanda Gonçalves Rocha. – Campina Grande, 2012.
72 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
Orientadora: Profa. Dra. Maria Regina da Silva Aragão.
Referências.

1. Eventos Externos de Precipitação. 2. Meteorologia Sinótica.
I. Título.

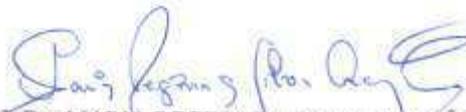
CDU 551.5 (043)

FERNANDA GONÇALVES ROCHA

EVOLUÇÃO TEMPORAL DE PADRÕES ATMOSFÉRICOS EM ANO CHUVOSO
NA CIDADE DE SALVADOR

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 04/05/2012

BANCA EXAMINADORA



Profª Dra MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Profª. Dra. MAGALY DE PATIMA CORREIA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Profª. Dra. WERÔNICA MEIRA DE SOUZA
Unidade Acadêmica de Garanhuns
Universidade Federal Rural de Pernambuco

PARA MEUS PAIS, JOSÉ BRASIL E MARIA CECILIA.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida e pela família a qual sou abençoada.

In memorium de minha avó, a quem devo tudo o que sou.

A minha mãe pelas palavras de incentivo e orações.

A meu pai pelo apoio e coragem em desbravar o mundo.

A minha irmã, pelo incentivo nos meus estudos e pela coragem na vida.

Aos meus padrinhos e amigos que muito me apoiaram a chegar aqui e permanecer o tempo suficiente para tudo se concretizar.

A Profa. Dra. Regina pela dedicação, orientação e ensino prestados.

A Profa. Dra. Magaly pelas palavras amigas.

As Sras. Divanete Cruz Rocha Farias, Eyres Diana Ventura Silva e Miriam Carmem Costa pela ajuda nos momentos conturbados.

A Alexandra Barbosa Silva pelos momentos de ajuda.

Aos amigos, Geissa Samira Lima Nascimento, Alekssandro Janio Jacinto de Sousa, Alexandra Lima Tavares, Dr.Ewerton Cleudson de Sousa Melo, Everson Batista Mariano pela ajuda nos momentos de desânimo.

Aos irmãos Sr. Humberto José do Nascimento e Sr. Irenaldo Romoaldo do Nascimento por me acolherem no momento em que mais precisei.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por ceder os dados pluviométricos utilizados neste trabalho.

Aos National Centers for Environmental Prediction (NCEP) pelo fornecimento de dados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG pela concessão da bolsa de mestrado do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro à minha pesquisa.

Aos membros da banca examinadora pelas críticas e sugestões.

“E que a força do medo que eu tenho não me impeça de chegar ao final; que a morte de tudo o que acredito não me deixe menos profissional, porque metade de mim é o que sinto, e a outra metade é o que acredito...

Que as palavras que eu falo agora não sejam ouvidas como final, nem como preliminar, apenas respeitadas por alguém que ama a profissão; porque metade mim quer ir embora, e a outra metade eu não sei...

Que o convívio comigo e com meus colegas se torne cada dia mais gratificante; que o espelho reflita em meu rosto o doce sorriso que lembro ter dado dois anos atrás quando de lá sai aqui cheguei, porque metade de mim é a lembrança de quem eu era, e a outra metade não sabe o que sou agora...

Que o meu interior não se canse de aprender, que minha alegria de viver não morra por insinuações ou diferenças entre costumes

E que seja preciso muito mais que uma dissertação para me fazer aquietar o meu espírito, pois metade de mim é a plena euforia e a outra metade é esfalfamento...

Que minhas loucuras sejam perdoadas, porque metade de mim é a meteorologia, e a outra metade acredito que também!!!”

Oswaldo Montenegro -Metade (adaptado)

RESUMO

O objetivo deste trabalho é investigar a evolução temporal de características médias e anômalas da atmosfera, em superfície e altitude, para um ano chuvoso na cidade de Salvador. O período de estudo é de dezembro de 2005 a julho de 2006 e a base climatológica são os anos de 1979 a 2010. Dados em pontos de grade de reanálise do NCEP/NCAR e totais mensais de precipitação do INMET são utilizados. Os campos médios mensais da pressão ao nível médio do mar mostram um cavado invertido de pequena amplitude na área costeira leste do Nordeste e Atlântico próximo, de abril a julho de 2006, um período chuvoso acima da normal climatológica. Essa estrutura também é encontrada no campo médio do vento em 850 hPa, em abril e maio. Ao sul desse cavado, na área subtropical do Atlântico, há um cavado no escoamento de oeste, um resultado que indica uma interligação entre sistemas de circulação tropical e extratropical. Os campos médios do vento em 200 hPa mostram ventos de oeste com velocidade acima de 20m/s que se estendem ao norte de 15°S sobre a América do Sul, nos meses do quadrimestre chuvoso. As anomalias do mês de abril se destacam pela pressão abaixo da média, e circulação ciclônica no nível de 850 hPa, no leste do Nordeste e área oceânica próxima.

ABSTRACT

The objective in this work is to investigate the temporal evolution of the mean and anomalous characteristics of the atmosphere, at the surface and in altitude, for a rainy year in the city of Salvador. The period of study is December 2005 to July 2006 and the climatologic basis is formed by the 1979-2010 period. NCEP reanalysis gridpoint data and INMET monthly precipitation data are used. Sea level pressure monthly mean fields show a small amplitude inverted trough on the Northeast eastern coastal area and the Atlantic, from April to July of 2006, an above normal rainy period. This structure is also found in the 850 hPa mean wind field, in April and May. To the south of this trough, over the subtropical Atlantic, there is a trough in the westerlies, a result that indicates an interconnection between tropical and extratropical circulation systems. The 200 hPa mean wind field shows westerlies with wind speeds higher than 20 m/s to reach latitudes to the north of 15°S over South America, in the four-month rainy period. Below normal sea level pressure and cyclonic circulation at 850 hPa are outstanding anomalies found over eastern Northeast Brazil and the adjacent oceanic area in April 2006.

LISTA DE FIGURAS

- 4.1 Área geográfica das análises de grande escala, com o estado da Bahia realçado pela cor vermelha. O mapa em destaque ilustra o município de Salvador com suas zonas político-administrativas. Os círculos pretos são pontos de observação de chuva. A estrela verde assinala a estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (Fonte do destaque: <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/>.) 26
- 4.2 Localização das regiões Niño no Oceano Pacífico. A região Niño 3.4 engloba parte da Niño 3 e da Niño 4. (Fonte: http://www.stedile.com.br/noticias/Boletim_Especial_-_27082009.pdf). 28
- 4.3 Variação da média trimestral das anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) na região Niño 3.4 nos anos de 2005 e 2006. A linha vermelha (verde) indica as ATSM no ano de 2005 (2006). (Fonte dos dados: <http://img0.cptec.inpe.br/~rclima/enso/tsm/evolucao/evolnino34.g>) 29
- 4.4. Delimitação da área (equador-20°S, 10°E-30°W) na qual é calculado o Índice do Atlântico Tropical Sul (IATS). (Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/tsa.data>) 30
- 4.5 Variação mensal da média das anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) na área do Atlântico Tropical Sul (ATS). A linha vermelha (verde) representa o ano de 2005 (2006). (Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/>) 31
- 4.6 Diagramas tempo-longitude da média móvel de três pêntadas das anomalias médias de cinco dias do potencial de velocidade (m^2s^{-1}) no nível de 200hPa, calculadas com base no período 1979-1995, para o ano de: (a) 2005 e (b) 2006. A longitude de 40°W, próxima de Salvador, está assinalada por uma linha preta nos dois diagramas. Os tons de azul (laranja) indicam aumento (diminuição) da convecção. (Fonte: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_mjo_index/pentad.shtm) 32
- 4.7 Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de dezembro de 2005, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 31. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2005). 34
- 4.8 Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de janeiro de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 31. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006). 35
- 4.9 Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de fevereiro de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 36

- a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 28. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006).
- 4.10 Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de março de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 31. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006). 39
- 4.11 Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de abril de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 30. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006). 40
- 4.12 Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de maio de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 31. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006). 41
- 4.13 Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de junho de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 30. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006). 42
- 4.14 Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de julho de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 31. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006). 43
- 5.1 Totais pluviométricos mensais referentes aos anos de 2005 (vermelho), 2006 (verde) e da climatologia (linha preta) da estação do INMET em Salvador. A legenda do gráfico evidencia o total pluviométrico do quadrimestre chuvoso, que abrange o período de abril a julho (AMJJ). (Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)). 45
- 5.2 Pressão ao nível médio do mar (hPa) para dezembro de 2005: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR) 47
- 5.3 Pressão ao nível médio do mar (hPa) para janeiro de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR) 47
- 5.4 Pressão ao nível médio do mar (hPa) para fevereiro de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR) 48
- 5.5 Pressão ao nível médio do mar (hPa) para março de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR) 48
- 5.6 Pressão ao nível médio do mar (hPa) para abril de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR) 50
- 5.7 Pressão ao nível médio do mar (hPa) para maio de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR) 50
- 5.8 Pressão ao nível médio do mar (hPa) para junho de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR) 53

5.9	Pressão ao nível médio do mar (hPa) para julho de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	53
5.10	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para dezembro de 2005, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	55
5.11	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para janeiro de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	55
5.12	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para fevereiro de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	56
5.13	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para março de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	56
5.14	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para abril de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	58
5.15	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para maio de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	58
5.16	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para junho de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	61
5.17	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para julho de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	61
5.18	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para dezembro de 2005, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	63
5.19	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para janeiro de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	63
5.20	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para fevereiro de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	65
5.21	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para março de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	65
5.22	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para abril de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	67
5.23	(a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para maio de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)	67

- 5.24 (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para junho de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR) 69
- 5.25 (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para julho de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR) 69

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	Anticiclone (Alta) da Bolívia
AN	América do Norte
AS	América do Sul
ASAS	Alta (Anticiclone) Subtropical do Atlântico Sul
ASAN	Alta (Anticiclone) Subtropical do Atlântico Norte
ASPN	Alta (Anticiclone) Subtropical do Pacífico Norte
ASPS	Alta (Anticiclone) Subtropical do Pacífico Sul
ASIS	Alta (Anticiclone) Subtropical do Índico Sul
ATN	Atlântico Tropical Norte
ATS	Atlântico Tropical Sul
ATSM	Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar
CODESAL	Defesa Civil de Salvador
DOL	Distúrbio Ondulatório de Leste
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
EN	El Niño
HL	Hora Local
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
INGÁ	Instituto de Gestão de Águas e Clima
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LN	La Niña
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NEB	Nordeste do Brasil
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMJ	Oscilação de Madden-Julian
PNA	Pacífico-América do Norte
PNMM	Pressão ao Nível Médio do Mar
PSA	Pacífico-América do Sul
ROL	Radiação de Onda Longa
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
CAPÍTULO 4 - DADOS E METODOLOGIA	25
4.1 Área de Estudo	25
4.2 Dados	26
4.3 Metodologia	27
4.4 Caracterização de Fenômenos Oceânicos e Atmosféricos	28
4.4.1 Condições no Pacífico Equatorial e o El Niño-Oscilação Sul (ENOS)	28
4.4.2 Condições no Atlântico Tropical Sul	30
4.4.3 Oscilação de Madden-Julian (OMJ)	31
4.4.4 Sistemas atmosféricos transientes	32
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1 Precipitação em Salvador	45
5.2 Pressão ao Nível Médio do Mar	45
5.3 Vento em 850 hPa	54
5.4 Vento em 200 hPa	62
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A distribuição e a variabilidade das chuvas no Brasil estão associadas à atuação e à sazonalidade da circulação atmosférica de macro e mesoescala. De acordo com Mendonça (2007), a diversidade de climas, chuvoso, semiárido, tropical e subtropical, é explicada pelos diferentes regimes de temperatura e de chuva encontrados no País.

O padrão de distribuição espacial das chuvas em escala planetária apresenta uma forte interrelação com as zonas de alta e baixa pressão, intensidade da radiação solar, correntes marítimas e a dinâmica da atmosfera. Sistemas atmosféricos contribuem para modular a distribuição temporal das chuvas de uma região. O regime pluviométrico de uma região está também associado a variações nos padrões da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos tropicais, que afetam a circulação atmosférica em escala global, a exemplo da posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Devido a sua localização geográfica, o Nordeste do Brasil (NEB) sofre a influência de fenômenos meteorológicos que lhe conferem características climáticas peculiares, sendo conhecida como uma região com alta variabilidade temporal e espacial da precipitação. A variabilidade do regime pluviométrico no NEB está associada a interações entre sistemas meteorológicos de mesoescala e macroescala (CALHEIROS & MOLION, 2004). Índices pluviométricos anuais que variam de 300 a 2200 mm/ano são registrados nessa região do Brasil (RAMOS et al., 2009). Considerando o NEB como um todo, o período mais chuvoso tem início em dezembro, atinge o máximo em abril e finda em julho. Geograficamente, inicia-se no sudoeste do NEB e termina no leste da região.

O NEB apresenta variabilidade intrassazonal e interanual marcante na precipitação. De maneira geral, nos anos extremamente chuvosos as chuvas são frequentes e de grande intensidade, e causam grandes prejuízos em áreas rurais e urbanas. Nas cidades os danos são agravados pela grande densidade populacional, pela ocupação desordenada de áreas de encosta e de várzea, pela impermeabilização das vias urbanas, etc. Nas grandes áreas urbanas,

perdas econômicas, sociais e ambientais elevadas são comuns em períodos de chuvas intensas e/ou persistentes. A cidade de Salvador, a terceira do Brasil em número de habitantes, reúne diversas características que a colocam entre as cidades brasileiras com maior número de desastres naturais causados por chuvas intensas.

Chuvas frequentes e de grande intensidade caracterizam eventos climáticos extremos em que o ambiente atmosférico de grande escala desempenha um papel decisivo. Pesquisar a variabilidade sazonal do cenário atmosférico nessa escala pode gerar informações que possibilitem uma melhor previsão de tempo e clima e, dessa forma, a prevenção de situações de desastre na região metropolitana de Salvador, com reflexos positivos em todos os setores de atividade cujo planejamento e gerenciamento dependam do conhecimento das condições atmosféricas. Essa perspectiva motiva este trabalho no qual é avaliada a estrutura atmosférica de grande escala nos meses que antecedem e constituem o quadrimestre mais chuvoso de 2006, quando chuvas acima da média (BARRETO et al., 2008; SILVA ARAGÃO et al., 2008) contribuíram para o número relativamente elevado de desastres naturais registrados pela Defesa Civil de Salvador (CODESAL, 2006; SANTOS, 2008).

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Caracterizar a estrutura atmosférica de grande escala em meses que antecedem e constituem o quadrimestre chuvoso de 2006 na cidade de Salvador.

2.2 Objetivos Específicos

Determinar a variação sazonal dos totais pluviométricos mensais dos anos de 2005 e 2006.

Diagnosticar campos médios mensais e de anomalias, com respeito à climatologia, considerando o ambiente atmosférico de grande escala, em superfície e altitude.

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O relevo, características da superfície, sistemas de tempo e fenômenos resultantes da interação superfície-atmosfera em diferentes escalas de tempo e espaço são fatores determinantes na distribuição dos elementos climáticos no NEB, onde a precipitação anual varia entre 300 mm no interior do semiárido, a 2200 mm na faixa costeira leste, aproximadamente. Diferentes regimes de chuvas são identificados no NEB. De maneira geral, no norte da região a estação chuvosa principal é de março a maio, no sul e sudeste as chuvas ocorrem principalmente no período de dezembro a fevereiro, e no leste a estação chuvosa ocorre de maio a julho.

No norte do NEB, o máximo de precipitação está relacionado com o posicionamento da ZCIT, com os Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN) e com o avanço de sistemas frontais austrais. No sul, o máximo está associado à penetração de frentes frias vindas do sul que alcançam latitudes mais baixas nos meses de novembro a fevereiro. Esses sistemas têm relação com a estrutura e formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre o continente sul-americano e o Oceano Atlântico. Na região costeira leste, o máximo está associado aos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), aos sistemas frontais e aos sistemas de vento locais.

Vários autores têm analisado a contribuição de sistemas meteorológicos na variabilidade intrassazonal da precipitação no NEB (ARAGÃO, 1975; BRABO et al., 1993; CALHEIROS & MOLION, 2004; CAVALCANTI et al., 2009; CHAVES, 1999; CHAVES & CAVALCANTI, 2001; DURAND et al., 2004; KOUSKY, 1979; RAO et al., 1993; SANTOS, 2008; VITORINO et al., 2006). A ZCIT, ZCAS, sistemas frontais, DOL, VCAN e os sistemas convectivos de mesoescala são sistemas de tempo que influenciam a variabilidade sazonal e intrassazonal das chuvas.

Durand et al. (2004) analisaram os padrões de correlação entre as anomalias do fluxo de calor latente e da cobertura de nuvens convectivas sobre o NEB durante os quatro meses da estação chuvosa principal (fevereiro a maio) do norte do NEB. Através de dados de cobertura de nuvens e vento obtiveram médias mensais para esses meses, de 1983 a 1994. Constataram que a correlação positiva estava ligada a anomalias no campo de vento que induzem anomalias de fluxos. A correlação negativa estava ligada a uma posição anormal da ZCIT.

No estudo da atuação de sistemas frontais no NEB, Kousky (1979) utilizou dados à superfície de um período de 10 anos (1961-1970) observados em 22 estações. A estação de Caravelas, situada no sul da Bahia, foi usada como referência para detectar a entrada de sistemas frontais austrais na região. Kousky verificou que eles são responsáveis pelo período chuvoso (novembro a fevereiro) no sul do NEB (sul e centro da Bahia), e que estão associados com o aumento de precipitação ao longo da costa, da Bahia ao Rio Grande do Norte, nos meses de maio a julho, e que também afetam o norte do NEB. Esses sistemas penetram no sul do NEB ao longo do ano, com frequência maior entre novembro e fevereiro.

A atuação de um sistema frontal sobre o sul do NEB e área oceânica adjacente, e seus impactos sobre a cidade de Salvador foram estudados por Santos (2008). Esse episódio, registrado em abril de 2006, se destacou pela chuva intensa que causou inúmeros transtornos na cidade. A análise de dados de ar superior mostrou uma atmosfera instável em Salvador horas antes da precipitação intensa.

A distribuição horária da chuva no NEB foi analisada por Kousky (1980). Através de totais pluviométricos coletados nos intervalos 21-09 HL (hora local), 09-15 HL e 15-21 HL, no período 1961-1970, Kousky verificou que a maior parte da chuva (acima de 50%) ocorre no intervalo entre 21 e 09 HL, período noturno e início da manhã, em grande parte da área costeira leste do NEB. Ele sugere que esse máximo ocorre devido à convergência, próximo à superfície, entre o escoamento médio proveniente do oceano e o escoamento em direção ao mar da brisa terrestre. Esse horário preferencial para a ocorrência de chuva também foi diagnosticado por Silva Aragão et al. (2008) que usaram oito anos de totais pluviométricos horários obtidos dos registros da estação automática do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) em Salvador. Os resultados mostraram que a chuva é menos frequente no período da tarde, entre 12-13 e 18-19 HL, e mais frequente na madrugada e início da manhã, entre 05-06 e 08-09 HL. Eles atribuíram esse horário preferencial à convergência entre a brisa terrestre e os ventos alísios. Analisando o ano de 2006

separadamente, os resultados indicaram que outros fatores dinâmicos tiveram papel decisivo na distribuição horária da chuva no quadrimestre chuvoso daquele ano.

Rao et al. (1993) discutiram as características da precipitação sobre o leste do NEB e os processos que são responsáveis pelas chuvas de outono e inverno na região. Utilizando dados do período 1914-1983, determinaram que o período chuvoso, abril a julho, caracteriza-se por 60% da precipitação anual, enquanto que durante a estação de estiagem, setembro a dezembro, ocorre apenas 10% da precipitação anual. A localização e intensidade da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) influenciam na variabilidade da precipitação sobre a região. Os autores verificaram ainda que Anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (ATSM) no Atlântico Sul no primeiro quadrimestre do ano estão correlacionadas com anomalias de precipitação no leste do NEB.

Chaves & Cavalcanti (2001) diagnosticaram as características da circulação atmosférica associada com a variabilidade de precipitação no sul do NEB. Usando dados pluviométricos (1979-1997) e análises de vento, vorticidade relativa, umidade específica e anomalias diárias de ROL, estudaram a influência de sistemas sinóticos durante a estação chuvosa (dezembro a fevereiro) dessa área do NEB. Observaram uma forte relação entre a variabilidade da precipitação e o fenômeno ENOS. Um deslocamento para norte da ZCAS em relação a sua posição climatológica, um VCAN sobre o Oceano Atlântico, uma mudança para leste na posição da Alta da Bolívia (AB) associaram-se em períodos chuvosos na área.

Variações interanuais da precipitação no NEB estão relacionadas com anomalias de elementos meteorológicos na região e em outras áreas do globo, causadas por sistemas dinâmicos da circulação atmosférica. Segundo Cavalcanti et al. (2009), teleconexões do ENOS são estabelecidas por meio de trens de onda do tipo Rossby, via latitudes médias e altas, ou por meio de circulações leste-oeste, associadas com áreas anormalmente quentes na região tropical, via latitudes tropicais. Uma onda quase estacionária de escala global é uma das componentes atmosféricas do ENOS. Ela tem seus centros de ação sobre a Indonésia e o Pacífico Sudeste, quando um aquecimento ou esfriamento anômalo das águas superficiais, El Niño (EN) ou La Niña (LN), está presente no Pacífico Equatorial Central e Leste (CAVALCANTI et al., 2009; CHAVES, 1999).

Alterações de grande escala associadas à circulação de Walker causam condições extremas no NEB. No caso do EN, a célula de Walker desloca-se para leste. Assim, seu ramo ascendente fica situado sobre as águas anormalmente aquecidas do Pacífico Equatorial Leste

e o ramo descendente sobre o Atlântico, atingindo o NEB (CHAVES, 1999; CAVALCANTI et al., 2009).

Tendo como foco principal a variabilidade da precipitação no NEB, Andreoli & Kayano (2006) investigaram a importância relativa da área tropical do Pacífico e do Atlântico analisando seis combinações de padrões de ATSM dessas áreas oceânicas. Elas verificaram que os extremos de ENOS e de ATSM significativas no Atlântico Tropical podem aumentar ou reduzir a precipitação; as ATSM de mesmo sinal no Atlântico Tropical Sul (ATS) e no Pacífico Leste enfraquecem os padrões anômalos de precipitação no NEB. Nos episódios de ATSM não significativas no ATS, ou com magnitude equivalente à do Atlântico Tropical Norte (ATN), e com sinal oposto às do Pacífico Leste, os padrões anômalos de precipitação são fortalecidos. Nas condições neutras de ENOS, as ATSM no ATS ocasionam uma mudança no posicionamento da ZCIT e aumento ou diminuição de precipitação no NEB.

Anomalias mensais de TSM nos oceanos Atlântico e Pacífico foram estudadas por Moura et al. (2009) para identificar áreas que influenciam a precipitação no setor leste do NEB. Por meio de totais mensais de precipitação (março a julho) de nove postos pluviométricos para um período de 46 anos foi analisada a correlação com os dois oceanos. ATSM positivas no ATS favorecem a chuva no leste do NEB e ATSM positivas no Pacífico inibem a chuva na mesma área. ATSM negativas no ATN estão relacionadas com atividade de bloqueio e o deslocamento para sul da ZCIT, induzindo chuvas intensas no NEB.

Cavalcanti et al. (2002) estudaram a influência da TSM na região tropical do Atlântico Sul e de sistemas atmosféricos na estação seca e chuvosa do NEB. Totais mensais de precipitação e anomalias de radiação de onda longa (ROL) e de TSM foram estudados no período de 1987-1998. Eles perceberam uma correlação positiva significativa entre ATSM e anomalias de precipitação.

Alves & Repelli (1992) estudaram a distribuição de chuvas sobre o setor norte do NEB durante os anos de ocorrência da fase quente de episódios de ENOS. Utilizando séries de totais mensais de precipitação para o período de 1912-1990, foi possível dividir o setor norte em sub-regiões para o período chuvoso (fevereiro a maio). Eles constataram que eventos quentes de ENOS não necessariamente estão associados com anos de estiagem prolongada no setor norte do NEB.

Padrões de teleconexões de escala planetária foram associados a oscilações atmosféricas e à variabilidade interanual do clima no NEB. A relação com padrões Pacífico-América do Norte (PNA) e Oscilação do Atlântico Norte (OAN) indica interrelação entre as

conexões do ENOS e o clima do NEB (CHAVES, 1999; CAVALCANTI et al., 2009; VITORINO et al., 2006).

Vitorino et al. (2006) estudaram as condições meteorológicas responsáveis pelo excesso de precipitação no verão (dezembro-janeiro) de 2003-2004. Através de composições de ROL, da pressão ao nível médio do mar, do vento e da TSM, verificaram o padrão de circulação atmosférica e a relação com oscilações intrassazonais atmosféricas. Os resultados mostraram que a precipitação no NEB estava relacionada com a intensa modulação do padrão PNA e da Oscilação da Antártica (AAO). Oscilações intrassazonais estavam relacionadas com diferentes padrões de teleconexões (PNA e Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS)), favorecendo a convecção na região.

A OMJ representa a mais significativa forma de variabilidade atmosférica nos trópicos em escala de tempo intrassazonal. Caracterizada por anomalias nos campos de vento e convecção tropicais, a OMJ se propaga de oeste para leste na região tropical, com uma periodicidade entre 30 e 60 dias (KNUTSON & WEICKMANN, 1987; CAVALCANTI et al., 2009; NASCIMENTO & BRITO, 2002).

A OMJ é um mecanismo modulador das variações pluviométricas em escala de tempo intrassazonal na Amazônia e no NEB. De acordo com Souza & Ambrizzi (2006), durante a passagem da OMJ na América do Sul, o aumento de anomalias de precipitação no leste da Amazônia e no NEB está associado à interação da atividade convectiva da ZCAS e da ZCIT.

Anomalias da precipitação e pressão atmosférica à superfície foram relacionadas para detectar a atuação da OMJ no NEB. Segundo Nascimento & Brito (2002), o estado do Ceará apresentou predominância da oscilação de outubro de 1992 a dezembro de 1993 nas análises da pressão atmosférica para esse período de ocorrência de EN. No ano de LN (1985/1986), no período de setembro a dezembro, observaram oscilações com periodicidade da ordem de 40 dias associadas à forte atuação de sistemas atmosféricos de grande escala.

Carvalho et al. (2004) verificaram que a OMJ modula a intensidade da ZCAS com persistência maior que três dias. Através de dados diários de ROL para o período de 1979 a 2000, eles detectaram que fases da OMJ caracterizadas por supressão de convecção sobre a Indonésia e aumento de convecção sobre o Pacífico Central aumentam o valor do percentil de 95% da precipitação diária sobre a Amazônia e o NEB.

Fatores associados a eventos de precipitação na área costeira norte e no interior do NEB foram estudados por Liebmann et al. (2011). Através de dados de ROL, vento e totais

mensais de precipitação, para o período de 1979-2005, verificaram que ondas de latitudes médias influenciam eventos intensos de precipitação na região. Uma variação na fase da OMJ e uma associação com trens de ondas na estação chuvosa foram mecanismos que colaboraram para eventos intensos na região.

Nesta seção foi realizada uma revisão de trabalhos que abordam a variabilidade da precipitação no NEB e sua relação com características da atmosfera e dos oceanos em escala global e regional. A revisão apresentada sugere que o diagnóstico das condições atmosféricas médias e anômalas que precedem meses muito chuvosos tem o potencial para gerar informações que auxiliem a previsão de tais eventos climáticos.

CAPÍTULO 4

DADOS E METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

A população total do Brasil é de 192.376.496 habitantes, segundo dados do Censo Demográfico de 2011 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011). Desse total, 53.081.510 habitantes (30%) se concentram na área do NEB (http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1961&i_pagina=1).

No NEB encontra-se o estado da Bahia, o sétimo mais rico do país e o maior da região. Apresenta um relevo constituído por planícies, vales, serras e montanhas com altitude entre 800 e 1200m como, por exemplo, a Chapada Diamantina (ARAÚJO & RODRIGUES, 2000). A Bahia tem 417 municípios, numa área de 564.830, 859 km², e população de 14.016.906 habitantes (IBGE, 2011). Segundo Leite (1976), a Bahia tem um relevo misto, com zonas naturais homogêneas como o planalto costeiro e uma cobertura vegetal caracterizada pela pastagem.

Salvador (12,58°S; 38,30°W) capital da Bahia, tem a terceira maior população do país, cerca de 2.693.605 habitantes e o maior produto interno bruto (PIB) do NEB. Apresenta um dos maiores totais anuais de precipitação dentre as cidades brasileiras, cerca de 2.144,0 mm (RAMOS et al., 2009). Desse total, 52,5% são registrados no período de abril a julho (AMJJ). A economia é sustentada por atividades ligadas ao comércio, turismo, indústrias, pólos industriais e os dois portos internacionais, representando aproximadamente 79% do PIB do estado.

Tendo em vista os objetivos propostos, neste trabalho foram realizadas análises de caráter local e global, com base nos dados e métodos discutidos a seguir.

4.2 Dados

Na análise das condições atmosféricas de grande escala foram utilizados registros mensais e climatológicos de dados de reanálise (1979-2010) dos “*National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research*” (NCEP/NCAR), com espaçamento de grade de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, da pressão ao nível médio do mar, e do vento nos níveis isobáricos padrões de 850 e 200 hPa (KALNAY et al., 1996). Os campos meteorológicos foram representados na área ilustrada na Figura 4.1.

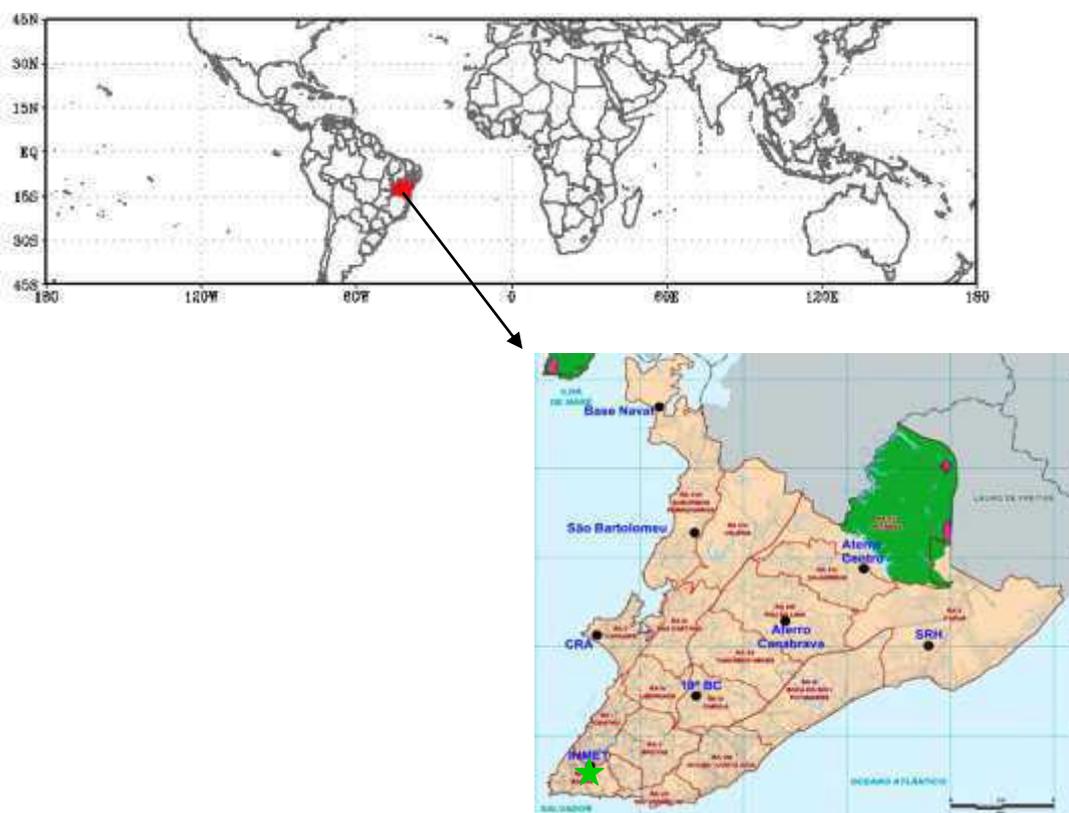


Figura 4.1: Área geográfica das análises de grande escala, com o estado da Bahia realçado pela cor vermelha. O mapa em destaque ilustra o município de Salvador com suas zonas político-administrativas. Os círculos pretos são pontos de observação de chuva. A estrela verde assinala a estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). (Fonte do destaque: <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/>)

Na análise de caráter local foram utilizados totais pluviométricos mensais da estação climatológica principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na cidade de Salvador, cujas coordenadas geográficas são $(13,02^\circ\text{S}, 38,53^\circ\text{W})$. A localização dessa

estação e as zonas político-administrativas do município de Salvador são ilustradas no destaque da Figura 4.1.

4.3 Metodologia

A primeira etapa desta pesquisa consistiu na seleção do ano (período chuvoso) de estudo. Dois critérios, de igual importância, orientaram a escolha: o volume e a intensidade das chuvas e a magnitude dos impactos negativos na cidade de Salvador. A principal fonte de informação sobre os impactos foram os relatórios finais “Operação Chuva” da Defesa Civil de Salvador (CODESAL). Elaborados anualmente a partir de 2005, eles apresentam uma síntese do trabalho preventivo e emergencial desenvolvido pela CODESAL. A página eletrônica da CODESAL também foi consultada (<http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br>).

A informação sobre os impactos foi considerada em conjunto com os estudos de Barreto et al. (2008) e Barreto (2012) nos quais foi utilizada a técnica do percentil para identificar eventos extremos de chuva na série histórica da estação do INMET em Salvador. Desvios padronizados de precipitação também foram calculados. Assim, foi selecionado como foco de estudo o quadrimestre chuvoso de 2006 (e os quatro meses que o antecederam), que se caracterizou por chuvas frequentes e persistentes, e episódios de chuvas intensas, que contribuíram para a saturação do solo no decorrer do quadrimestre chuvoso. O efeito cumulativo das chuvas de abril e maio foi agravado na madrugada do dia 12 de junho, quando choveu 51 mm em três horas (SANTOS, 2008), levando o prefeito a declarar Salvador em Situação de Emergência nos dias 12, 13, 14 daquele mês (CODESAL, 2006). Deslizamentos de terra, desabamentos de imóveis, alagamentos, entre outros desastres, causaram inúmeros transtornos à população de Salvador (CODESAL, 2006; SANTOS, 2008).

Neste trabalho os totais mensais de chuva de 2005 e 2006 foram graficamente representados visando possibilitar a visualização da variação sazonal da chuva. Foi analisada a circulação atmosférica para os meses de dezembro de 2005 a julho de 2006. A análise consistiu na obtenção de campos médios mensais climatológicos para o período de 1979-2010, e de campos médios mensais e os respectivos campos de anomalias (em relação à climatologia) para os meses de estudo.

A visualização e análise de dados em pontos de grade foram realizadas com o aplicativo "*Grid Analysis and Display System*" (GrADS). O GrADS trabalha com matrizes de dados nos formatos BINÁRIO, GRIB, NetCDF ou HDF-SDS, nas quais as variáveis podem

possuir até 4 dimensões (longitude, latitude, níveis verticais e tempo) especificadas por um arquivo descritor. *ctl*. Sua distribuição é totalmente livre e gratuita através de sua página oficial: <http://grads.iges.org/grads/index.html>. Implementado em diversos ramos das ciências exatas, também é amplamente utilizado na área de pesquisa em Meteorologia. A seguir são discutidas características atmosféricas e oceânicas, em diversas escalas de tempo e espaço, que podem ter contribuído para a variabilidade da chuva no período de estudo.

4.4 Caracterização de Fenômenos Oceânicos e Atmosféricos

4.4.1 Condições no Pacífico Equatorial e o El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um dos fenômenos de escala interanual e planetária cuja influência sobre a variabilidade pluviométrica do Nordeste tem sido comprovada por diversos autores (ANDREOLI & KAYANO, 2006; CAVALCANTI et al., 2009; CHAVES, 1999; CHAVES & CAVALCANTI, 2001). Vários índices climáticos são utilizados para caracterizar a evolução temporal e espacial de eventos ENOS.

O Índice Niño Oceânico (INO) calculado pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) detecta episódios quentes e frios com base no limiar de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ na região Niño 3.4 (5°N - 5°S , 120° - 170°W) do Pacífico Equatorial (Fig 4.2). Este índice é obtido das ATSM do Extended Reconstructed Sea Surface Temperature-versão 3 (ERSST.v3), disponível em www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

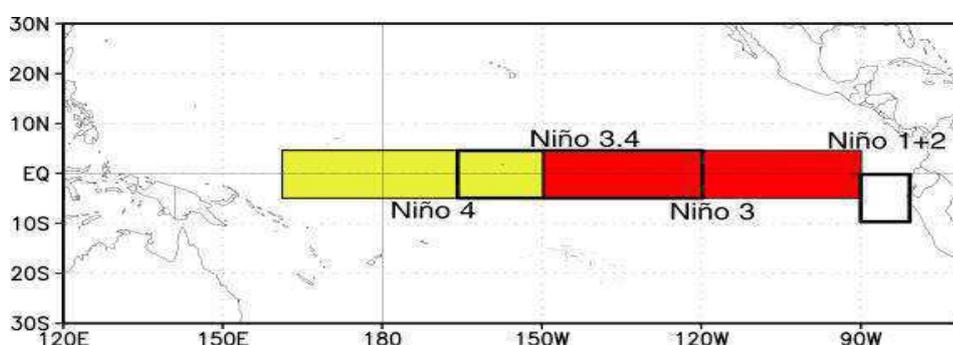


Figura 4.2: Localização das áreas Niño no Oceano Pacífico. A área Niño 3.4 engloba parte da Niño 3 e da Niño 4.

(Fonte: http://www.stedile.com.br/noticias/Boletim_Especial_-_27082009.pdf).

O INO é a média aritmética das ATSM de três meses consecutivos; no cálculo da média de cada trimestre são usados os dois últimos meses do trimestre anterior e o mês subsequente. Assim, as anomalias são calculadas para dezembro-janeiro-fevereiro (DJF), janeiro-fevereiro-março (JFM), fevereiro-março-abril (FMA), e assim sucessivamente. Um total de doze trimestres descreve cada ano individual, incluindo o último (primeiro) mês do ano anterior (posterior) ao ano considerado. Usando esse índice, a NOAA estabelece que um evento de El Niño (La Niña) está em curso quando as anomalias são iguais ou maiores (iguais ou menores) do que $+0,5^{\circ}\text{C}$ ($-0,5^{\circ}\text{C}$) em cinco trimestres consecutivos, no mínimo.

A Figura 4.3 ilustra os valores desse índice para os anos de 2005 e 2006. No ano de 2005 o índice é positivo em nove trimestres, dentre os quais seis (não consecutivos) tem valor igual ou maior do que $0,5^{\circ}\text{C}$. O valor mais elevado é visto no primeiro trimestre. A partir de SON, os valores são negativos em um período de cinco trimestres que termina em JFM de 2006. Nesse período apenas NDJ apresentou valor inferior a $-0,5^{\circ}\text{C}$. A partir de AMJ de 2006 as anomalias são positivas, com valores pouco acima de $0,5^{\circ}\text{C}$ em sete trimestres consecutivos, caracterizando um evento fraco de El Niño que finda em OND de 2006.

A Figura 4.3 permite concluir que as ATSM na região Niño 3.4 são fracas durante todo o ano de 2005 e também no primeiro semestre de 2006 e, dessa forma, não devem ter impacto significativo no período chuvoso de 2006, o que é esperado em condições neutras do ENOS.

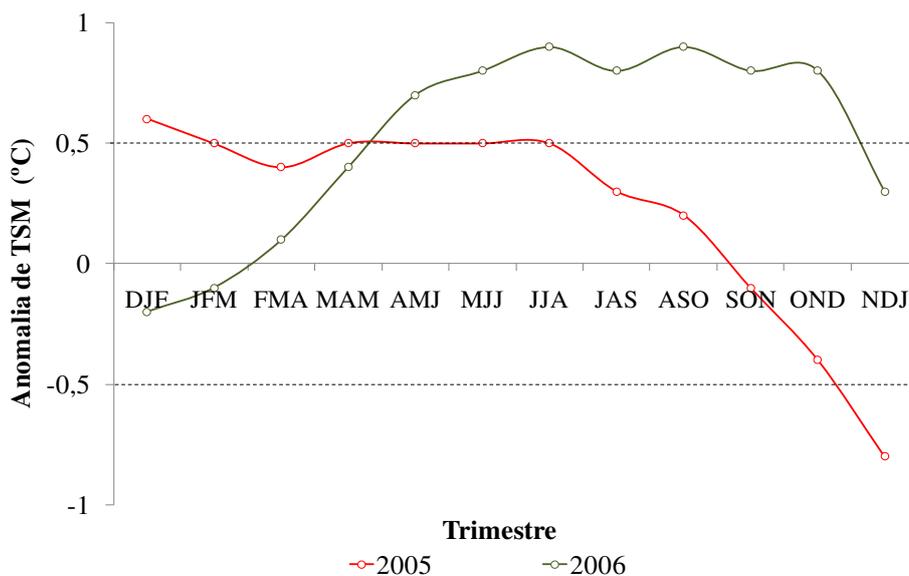


Figura 4.3: Variação da média trimestral das anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) na área Niño 3.4 nos anos de 2005 e 2006. A linha vermelha (verde) indica as ATSM no ano de 2005 (2006).

(Fonte dos dados: <http://img0.cptec.inpe.br/~rclima/enso/tsm/evolucao/evolnino34.g>)

4.4.2 Condições no Atlântico Tropical Sul

As condições de superfície do Atlântico Tropical também influenciam a variabilidade das chuvas no NEB conforme mostrado por diversos autores, sendo pioneiros os estudos de Hastenrath & Heller (1977), e Moura & Shukla (1981). Dentre os índices utilizados para monitorar as condições no Atlântico Tropical está o Índice do Atlântico Tropical Sul (IATS), obtido através da diferença entre a TSM mensal observada e a TSM média climatológica referente ao período de 1951 a 2000. Na Figura 4.4 o retângulo vermelho delimita a área na qual a diferença é calculada. Esses dados foram obtidos do Instituto de Estudos Espaciais (GISS) da NOAA, através do endereço eletrônico (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/dataclimateindices/list/>).



Figura 4.4: Delimitação da área (equador-20°S, 10°E-30°W) na qual é calculado o Índice do Atlântico Tropical Sul (IATS).

(Fonte dos dados: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/tsa.data>)

A Figura 4.5 ilustra a média das ATSM na área do Atlântico Sul vista na Figura 4.4, para os vários meses do período de estudo. Nota-se que o primeiro quadrimestre apresenta índices positivos nos anos de 2005 e 2006. Nos meses de maio, junho, julho, setembro, novembro e dezembro de 2005 o índice é negativo. Agosto e outubro de 2005 não apresentam desvio em relação à climatologia.

O ano de 2006 apresenta anomalias positivas que variam de 0,04 a 0,41°C. Índices iguais ou maiores do que 0,25°C são encontrados nos meses de março a outubro, indicando condições oceânicas favoráveis ao desenvolvimento de sistemas atmosféricos na área.

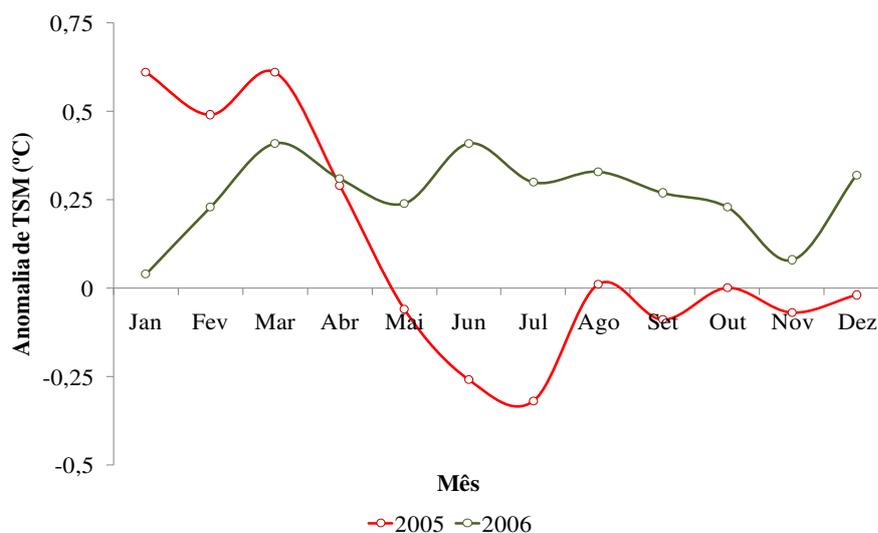


Figura 4.5: Variação mensal da média das anomalias da temperatura da superfície do mar (ATSM) na área do Atlântico Tropical Sul (ATS). A linha vermelha (verde) representa o ano de 2005 (2006).

(Fonte dos dados: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/>)

4.4.3 Oscilação de Madden-Julian (OMJ)

A Oscilação de Madden-Julian (OMJ) representa a mais significativa forma de variabilidade atmosférica nos trópicos em escala de tempo intrassazonal. Essa oscilação é um mecanismo modulador das variações pluviométricas em escala de tempo intrassazonal na Amazônia e no NEB (SOUZA & AMBRIZZI, 2006).

Vários índices que possibilitam o monitoramento da OMJ estão disponíveis na página eletrônica da NOAA (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/mjo.shtml#current>). Nos diagramas tempo-longitude da Figura 4.6 observa-se a variação de um dos índices, calculado com base no potencial de velocidade do nível de 200 hPa, para os anos de 2005 e 2006. Neles a longitude de 40°W, próxima a Salvador, está assinalada pela linha vertical preta e os tons de azul (laranja) indicam condições favoráveis ao aumento (diminuição) da convecção. É evidente a ausência do sinal da oscilação nessa longitude, nos meses de novembro e dezembro de 2005 (Fig. 4.6a). Por outro lado, nos primeiros seis meses de 2006 há predominância de áreas azuis (núcleos negativos da oscilação), o que indica aumento da convecção, na escala de tempo da OMJ (Fig. 4.6b).

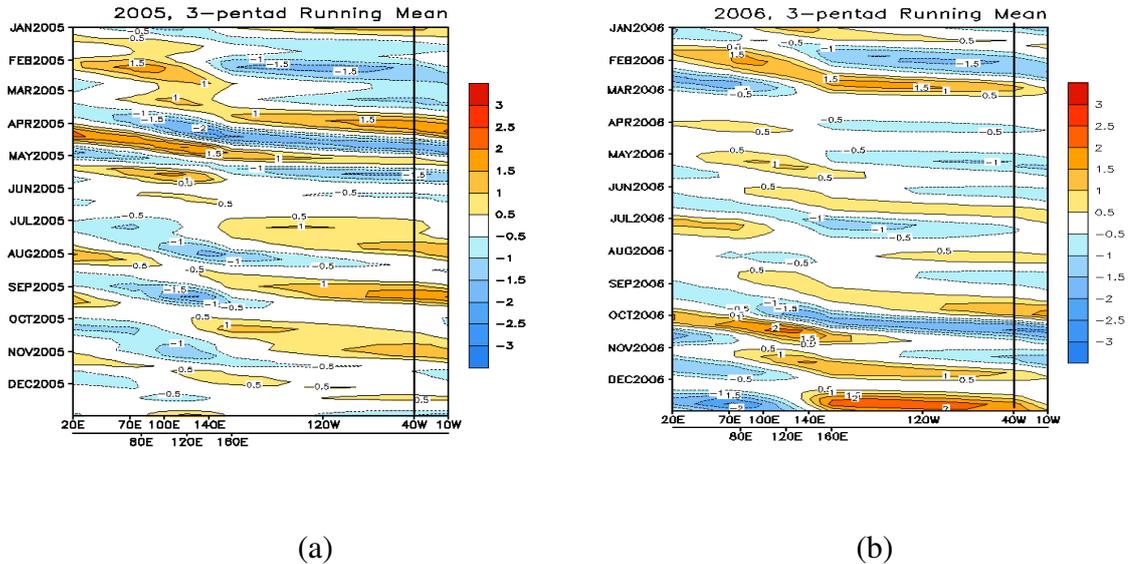


Figura 4.6: Diagramas tempo-longitude da média móvel de três pântadas das anomalias médias de cinco dias do potencial de velocidade (m^2s^{-1}) no nível de 200 hPa, calculadas com base no período 1979-1995, para o ano de: (a) 2005 e (b) 2006. A longitude de $40^\circ W$, próxima de Salvador, está assinalada por uma linha preta nos dois diagramas. Os tons de azul (laranja) indicam aumento (diminuição) da convecção. (Fonte dos dados: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_mjo_index/pentad.shtml)

Os dois núcleos mais intensos (e opostos) da oscilação são vistos em janeiro e fevereiro de 2006. No decorrer dos meses de abril, maio e junho há áreas negativas ou ausência do sinal da oscilação.

4.4.4 Sistemas atmosféricos transientes

Nesta subseção há uma breve discussão sobre os sistemas meteorológicos que atuaram no Brasil no período de estudo. A principal fonte de informação utilizada foi o Boletim Climanalise (2005 - 2006) publicado mensalmente pelo INPE / CPTEC.

O mês de dezembro de 2005 foi caracterizado pela atuação de seis sistemas frontais, seis VCAN e dois episódios de ZCAS. Esses episódios, ocorridos nos períodos de 11-16 e 24-29, tiveram início com a chegada de sistemas frontais que se tornaram semiestacionários na área central do Brasil. Simultaneamente, houve a atuação de VCAN centrado na área oceânica a leste do NEB. A presença de VCAN ocorreu no período de 7 a 20 e de 22 a 31, e favoreceu as chuvas na região. Nas médias pentadais da temperatura de brilho ilustradas na Figura 4.7a

banda de nebulosidade da ZCAS é evidente na terceira e sexta pântadas (Fig. 4.7c,f), se estendendo do sudoeste da Amazônia ao sudoeste do Atlântico Sul. Além disso, a área de nebulosidade em forma de arco característica de VCAN pode ser visualizada em todas as pântadas, exceto a primeira (Fig. 4.7a). Outro ponto a destacar é a presença da extensa cobertura de nuvens sobre o Brasil, nas seis pântadas, resultante da ação de sistemas frontais e da área de difluência nos altos níveis associada à alta (anticiclone) da Bolívia, centrada a oeste de sua posição climatológica. A posição do jato subtropical esteve próxima da climatologia.

No mês de janeiro de 2006 seis sistemas frontais avançaram sobre o Brasil, e seis VCAN, centrados sobre o leste do Brasil e oceano adjacente, foram responsáveis por chuva abaixo da média no NEB e em parte do Sudeste e do Centro-oeste, principalmente na segunda quinzena. A ausência de nebulosidade nessas áreas é ilustrada pelas imagens na Figura 4.8. Na primeira quinzena, a interação entre a ZCIT e a borda superior de VCAN favoreceu as chuvas no litoral da Região Norte e no litoral norte do NEB. Houve dois episódios de ZCAS: o primeiro ocorreu do dia 1 ao dia 8, e o segundo teve início no dia 27 e perdurou até o início de fevereiro (Fig. 4.8a,b,f). Também neste mês a alta (anticiclone) da Bolívia esteve centrada a oeste de sua posição climatológica, apresentando maior intensidade na terceira pântada, conforme indica a cobertura de nuvens mais extensa vista na Figura 4.8c. O jato subtropical esteve deslocado para sul e ligeiramente menos intenso em comparação com a climatologia.

No mês de fevereiro de 2006 houve três sistemas frontais e dois episódios de ZCAS, concomitantes com VCAN, sendo que o primeiro episódio teve início em janeiro e findou no dia 2 deste mês. O segundo episódio, entre os dias 9 e 13, propiciou o aumento das chuvas no Norte e no NEB, e é ilustrado pela Figura 4.9c. Nas três primeiras semanas do mês foram observados VCAN: a leste do NEB na primeira pântada, e sobre o NEB, no restante do período, o que inibiu as chuvas na região. A posição da ZCIT foi variável; ela esteve deslocada para sul em relação à climatologia na quinta e sexta pântadas (Fig. 4.9e,f), favorecendo a formação de linhas de instabilidade no norte do NEB. A alta (anticiclone) da Bolívia esteve posicionada a noroeste da posição climatológica, estando bem configurada em 17 dias do mês. O jato subtropical esteve menos intenso.

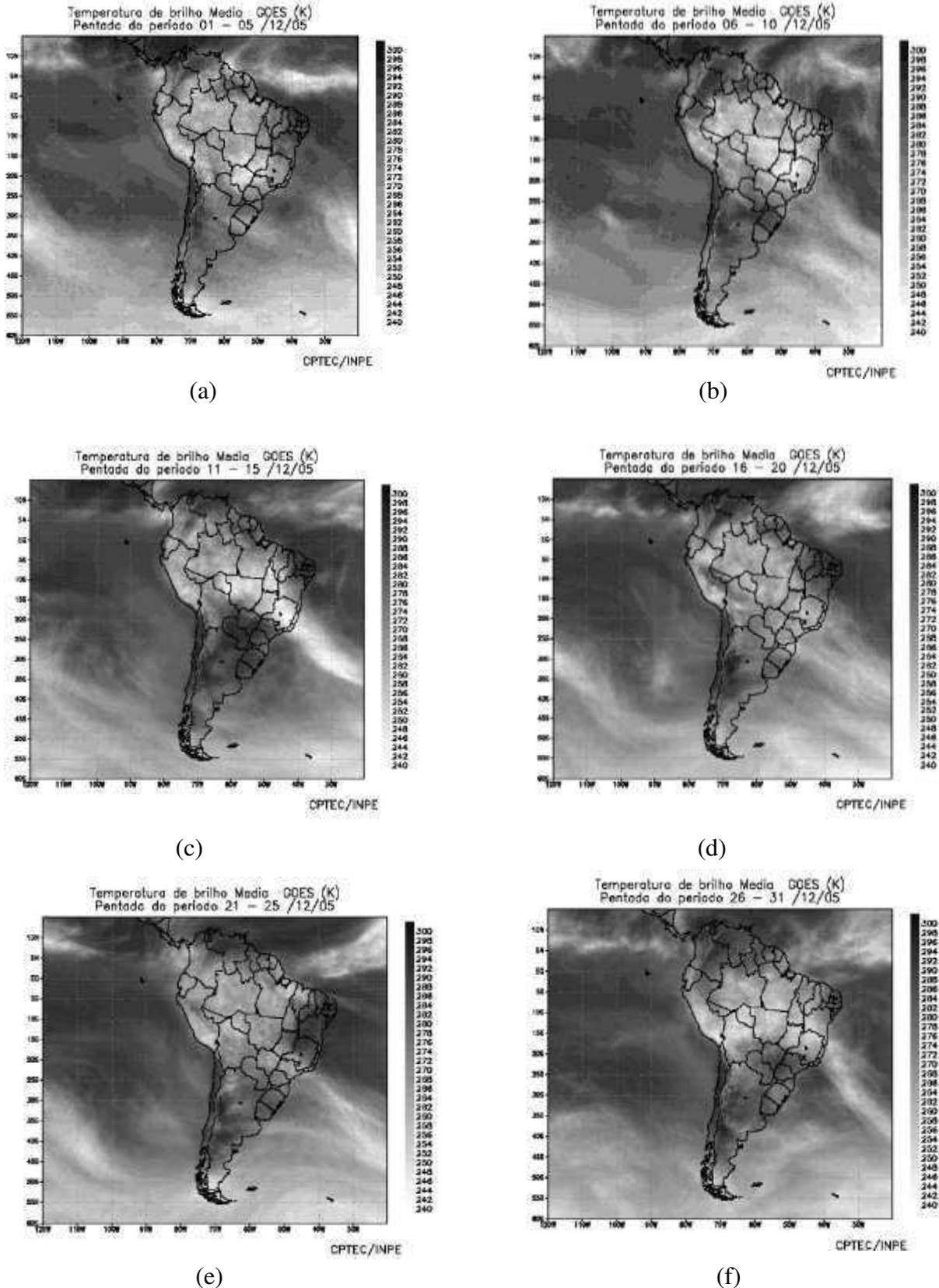


Figura 4.7: Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de dezembro de 2005, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 31. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2005).

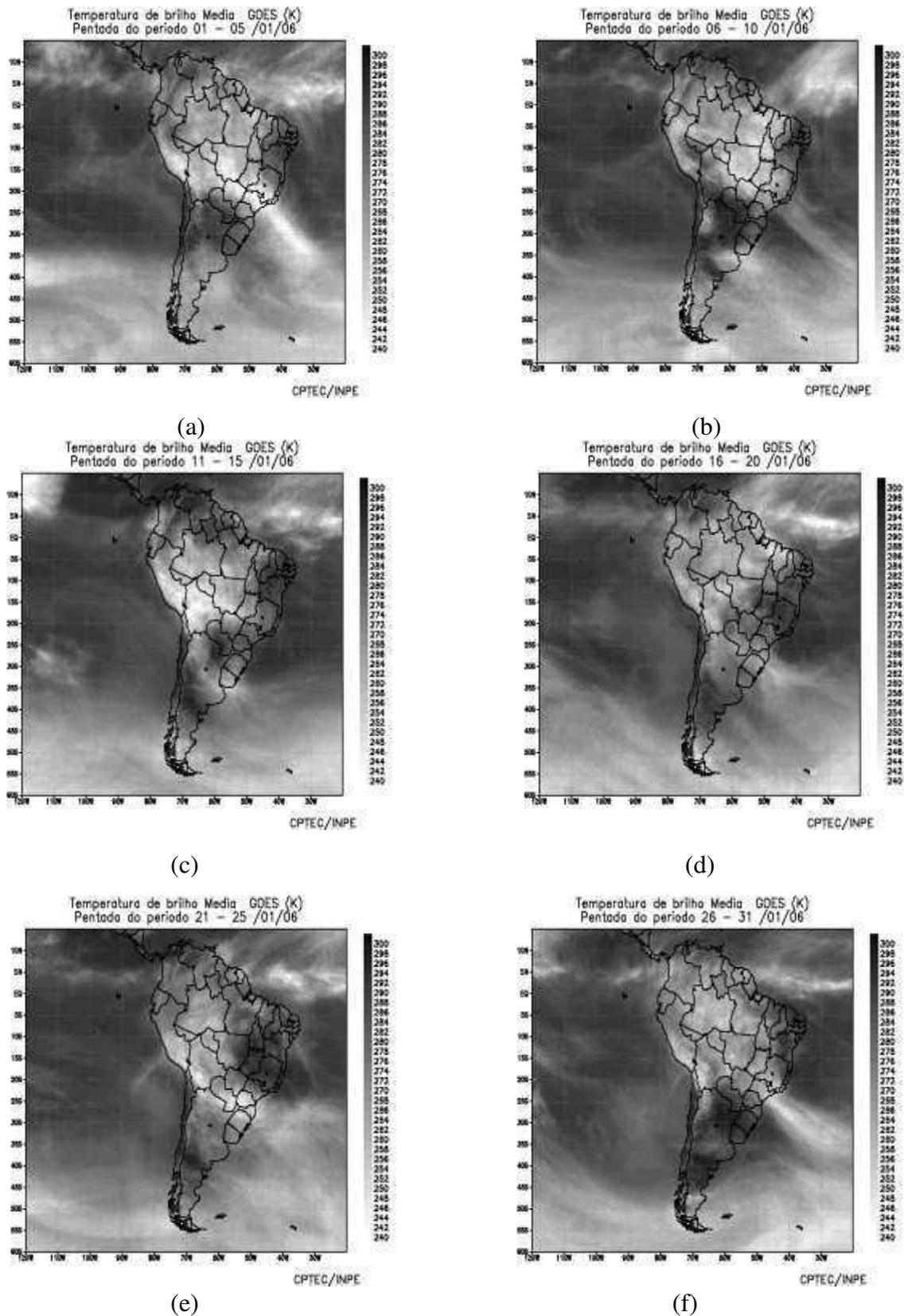


Figura 4.8: Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de janeiro de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 31. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanalise, 2006).

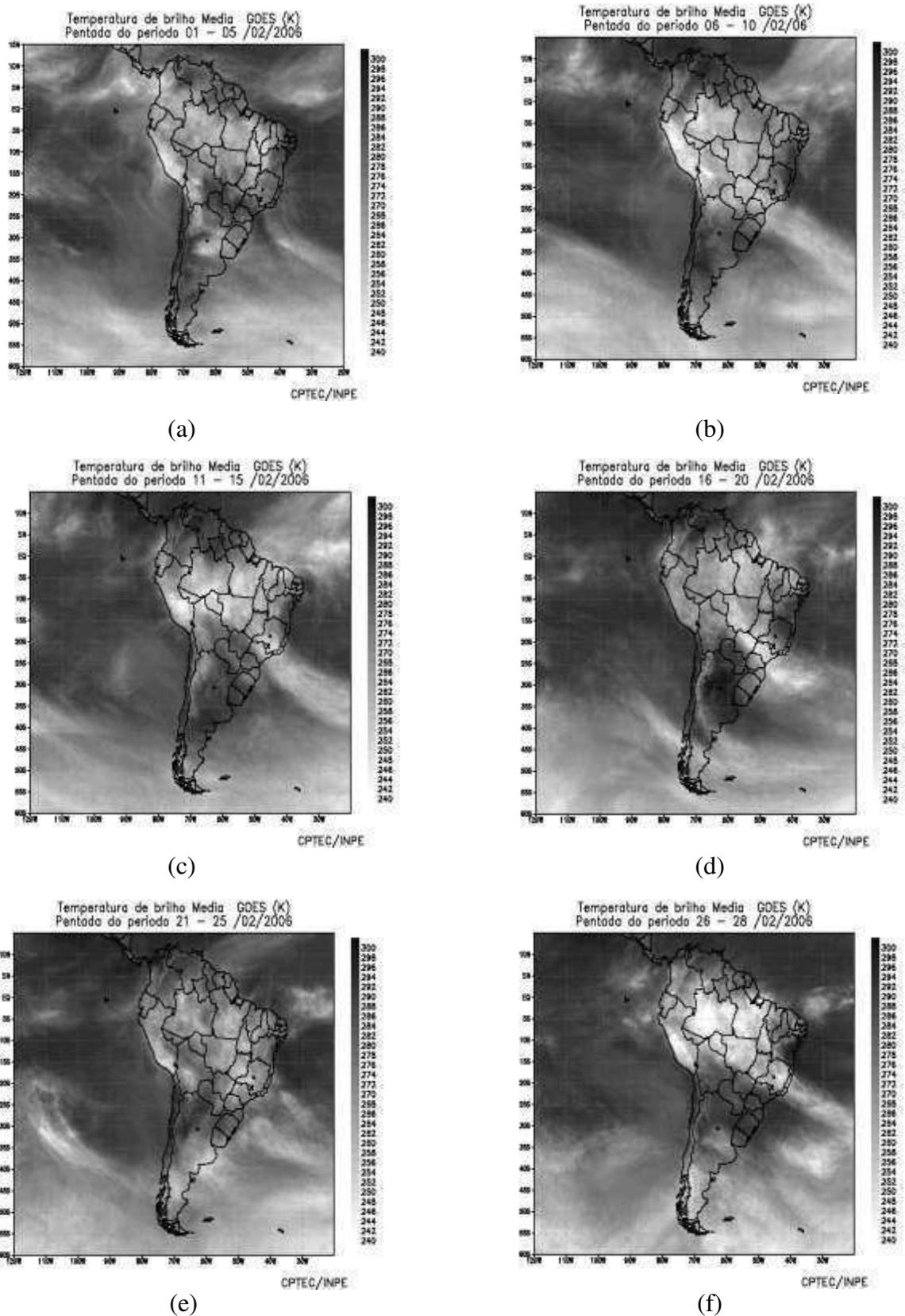


Figura 4.9: Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de fevereiro de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 28. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006).

No mês de março de 2006 houve cinco sistemas frontais e um episódio de ZCAS, concomitante com VCAN, que teve início no dia 7 e perdurou até o dia 16 (Fig. 4.10b,c), favorecendo a precipitação no Norte, Centro-oeste, Sudeste, sul do NEB e área oceânica próxima. Foi observado um total de cinco VCAN que atuaram no Brasil, sendo três deles centrados no Atlântico, a leste do NEB, favorecendo as chuvas na região: na primeira (dias 1 a 4), segunda/terceira (dias 8 a 16) e sexta (dias 28-30) pântadas (Fig. 4.10a-c,f). A ZCIT atuou de forma mais intensa na primeira e na quinta pântadas, no norte do Brasil (Fig. 4.10a,e). A alta (anticiclone) da Bolívia esteve posicionada a sudoeste da posição climatológica. A difluência associada à alta favoreceu o desenvolvimento da convecção profunda e a precipitação, no Norte e no Centro-oeste, durante todo o mês (Fig. 4.10a-f). O jato subtropical esteve próximo da posição climatológica.

No mês de abril de 2006 houve seis sistemas frontais. Os sistemas que atuaram na terceira e na quarta pântadas alcançaram latitudes mais ao norte. Foi esse o caso do terceiro sistema frontal. Ele penetrou no Sul no dia 15 e avançou até o NEB, induzindo a formação de um cavado invertido na área dos ventos alísios, o que provocou chuva intensa na madrugada do dia 21 em Salvador (SANTOS, 2008). Esse evento foi um dentre cinco de igual magnitude registrados na cidade em abril de 2006 (BARRETO et al., 2008; BARRETO, 2012). Um total de cinco VCAN foi observado no período de 1 a 21 desse mês (Fig. 4.11a-d). Dentre eles, dois estiveram centrados no Atlântico tropical; o primeiro causou chuva no leste do Nordeste nos dias 1 e 2 (Fig. 4.11a). Neste mês foram observados dois distúrbios ondulatórios de leste (DOL), os primeiros do ano. No dia 8 um DOL causou chuva no litoral da Paraíba e Alagoas, e no período do dia 30 ao dia 02 de maio o segundo DOL atuou na área litorânea do Rio Grande do Norte à Bahia. A ZCIT esteve evidente durante todo o mês (Fig. 4.11a-f), porém mais ativa na quarta e sexta pântadas (Fig. 4.11d,f). A alta (anticiclone) da Bolívia atuou apenas na primeira quinzena do mês (Fig. 4.11a-c), situada a nordeste de sua posição climatológica. O jato subtropical esteve deslocado para sul em relação à climatologia.

No mês de maio de 2006, totais pluviométricos elevados foram observados na região Norte e no norte do NEB devido à atuação da ZCIT, que esteve evidente em todas as pântadas (Fig. 4.12a-f), porém mais intensa no norte do NEB na primeira e na segunda pântadas (Fig. 4.12a,b). Seis sistemas frontais influenciaram o território brasileiro; três deles atingiram latitudes do NEB, sendo que o segundo favoreceu o desenvolvimento e a organização da convecção na região, na terceira e quarta pântadas, conforme indicado pelas imagens (Fig. 4.12 c,d). Distúrbios ondulatórios de leste atuaram em áreas do leste do NEB entre os dias 21

e 25. O jato subtropical esteve ligeiramente deslocado para norte em relação à climatologia, e intenso durante quase todo o mês.

No mês de junho de 2006 cinco sistemas frontais avançaram sobre o Brasil; o último alcançou o litoral da Bahia no dia 29. No norte da Região Norte e do NEB, a ZCIT provocou chuva nas três primeiras pântadas (Fig. 4.13a-c). Os totais de precipitação foram acima da média na Paraíba e no leste da Bahia favorecidos por episódios de DOL. Um deles foi responsável pelo desenvolvimento e organização da convecção profunda que resultou no evento extremo de chuva da madrugada do dia 12 em Salvador (SANTOS, 2008). O jato subtropical esteve menos intenso e ligeiramente deslocado para sul em comparação com a climatologia.

Cinco sistemas frontais avançaram sobre o Brasil em julho de 2006, mas somente o último influenciou o NEB, nos dias 28 e 29. O jato subtropical mais intenso e deslocado para norte em relação à climatologia favoreceu o avanço desse sistema para latitudes mais baixas. No restante do mês, o jato subtropical esteve ao sul da sua posição climatológica. Um VCAN centrado no norte do Espírito Santo, no período de 13 a 15, favoreceu o aumento da nebulosidade no leste do NEB. A ZCIT esteve posicionada em torno da climatologia, ao norte do equador (Fig. 4.14a-f). Na área litorânea do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco houve a atuação de DOL, em diferentes dias do mês.

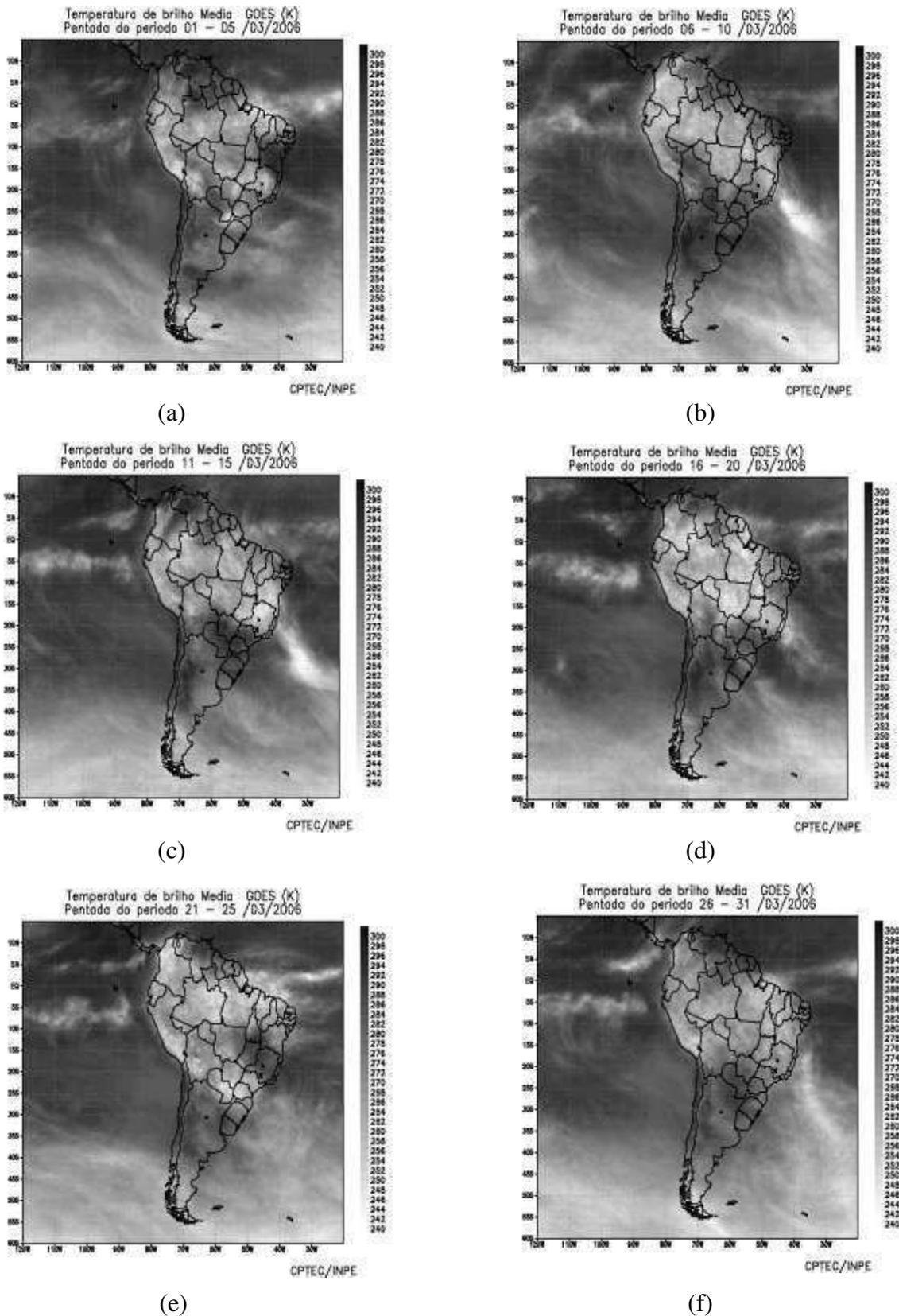


Figura 4.10: Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de março de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 31. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006).

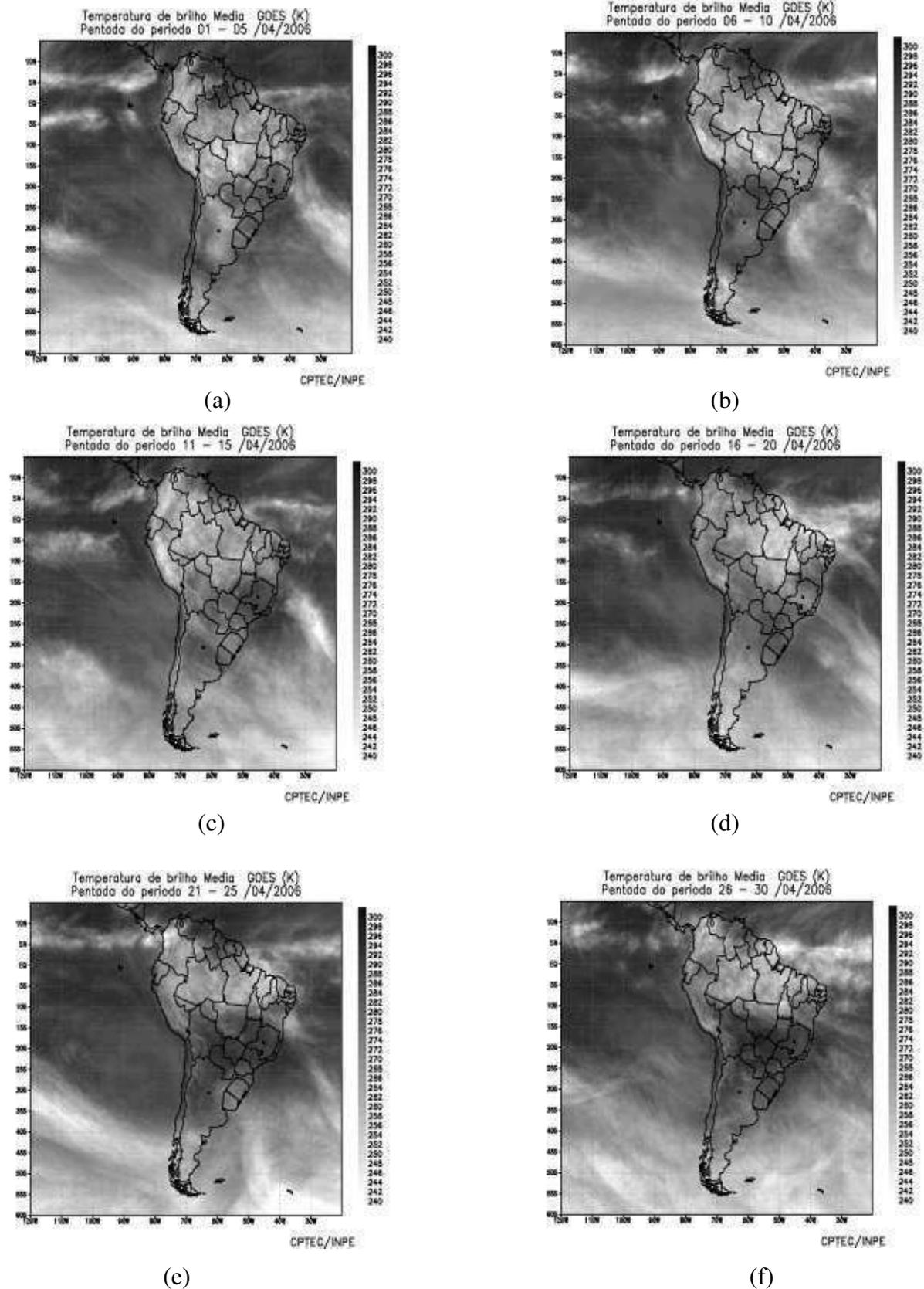


Figura 4.11: Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de abril de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 30. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006).

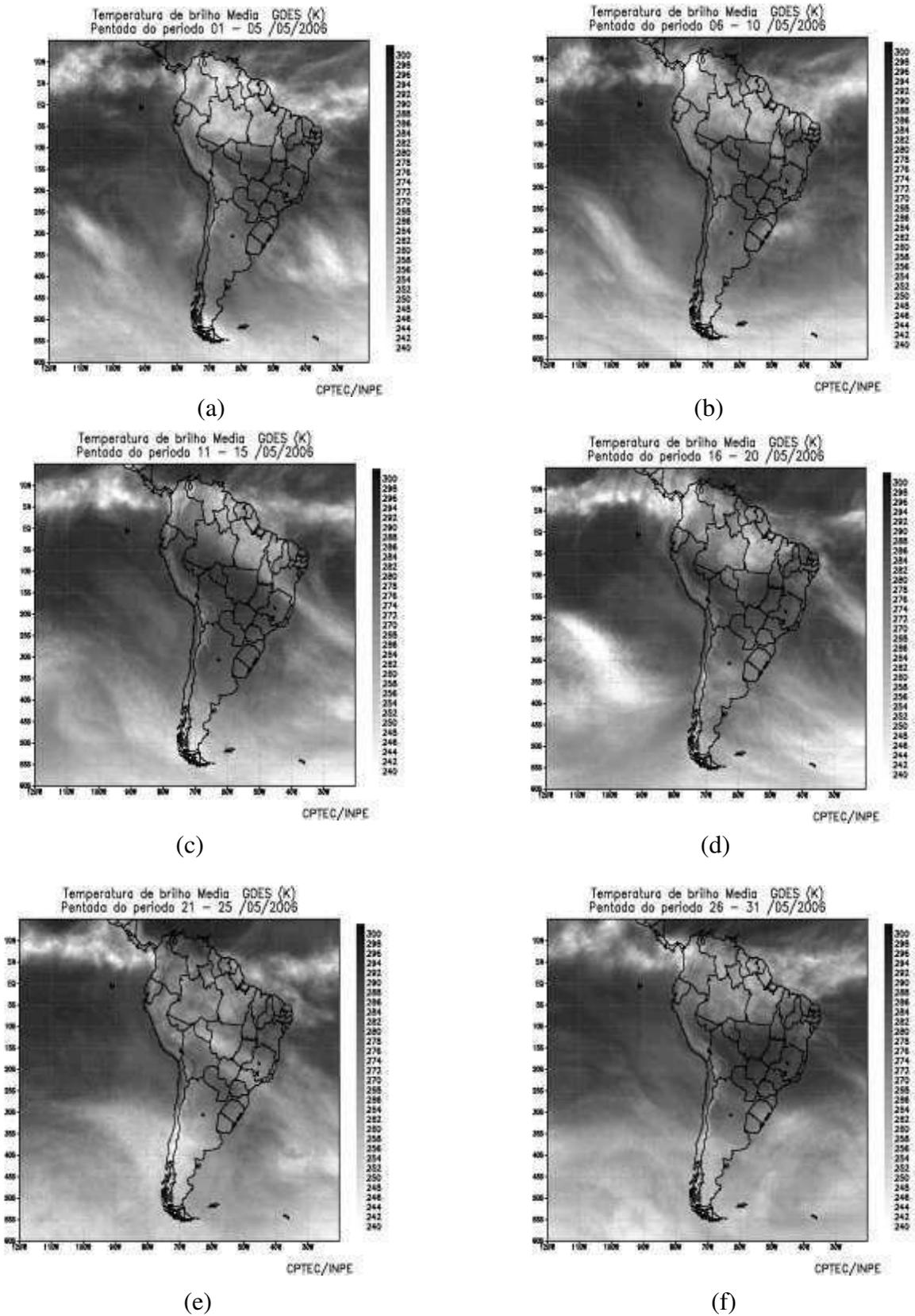


Figura 4.12: Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de maio de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 31. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006).

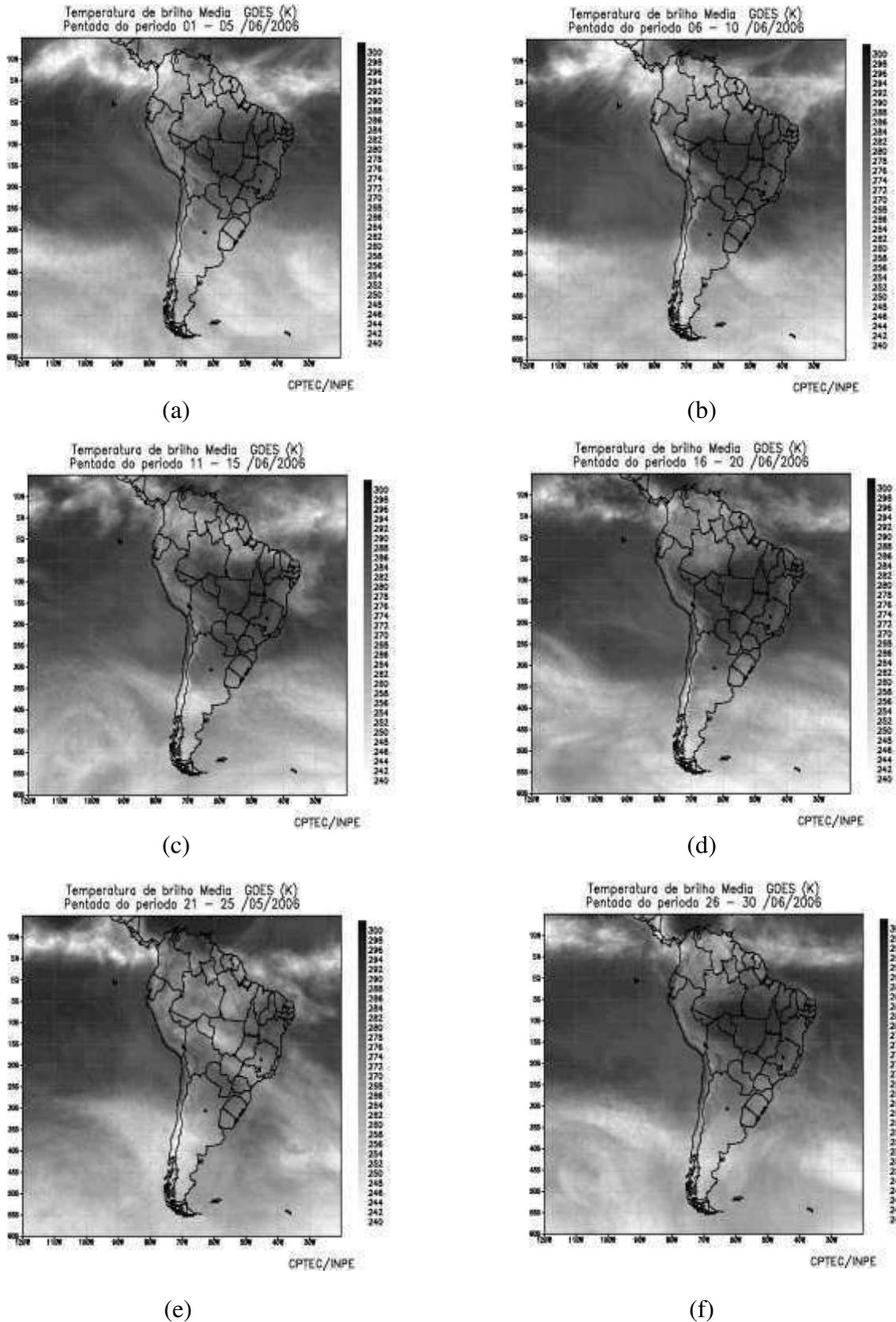


Figura 4.13: Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de junho de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 30. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanálise, 2006).

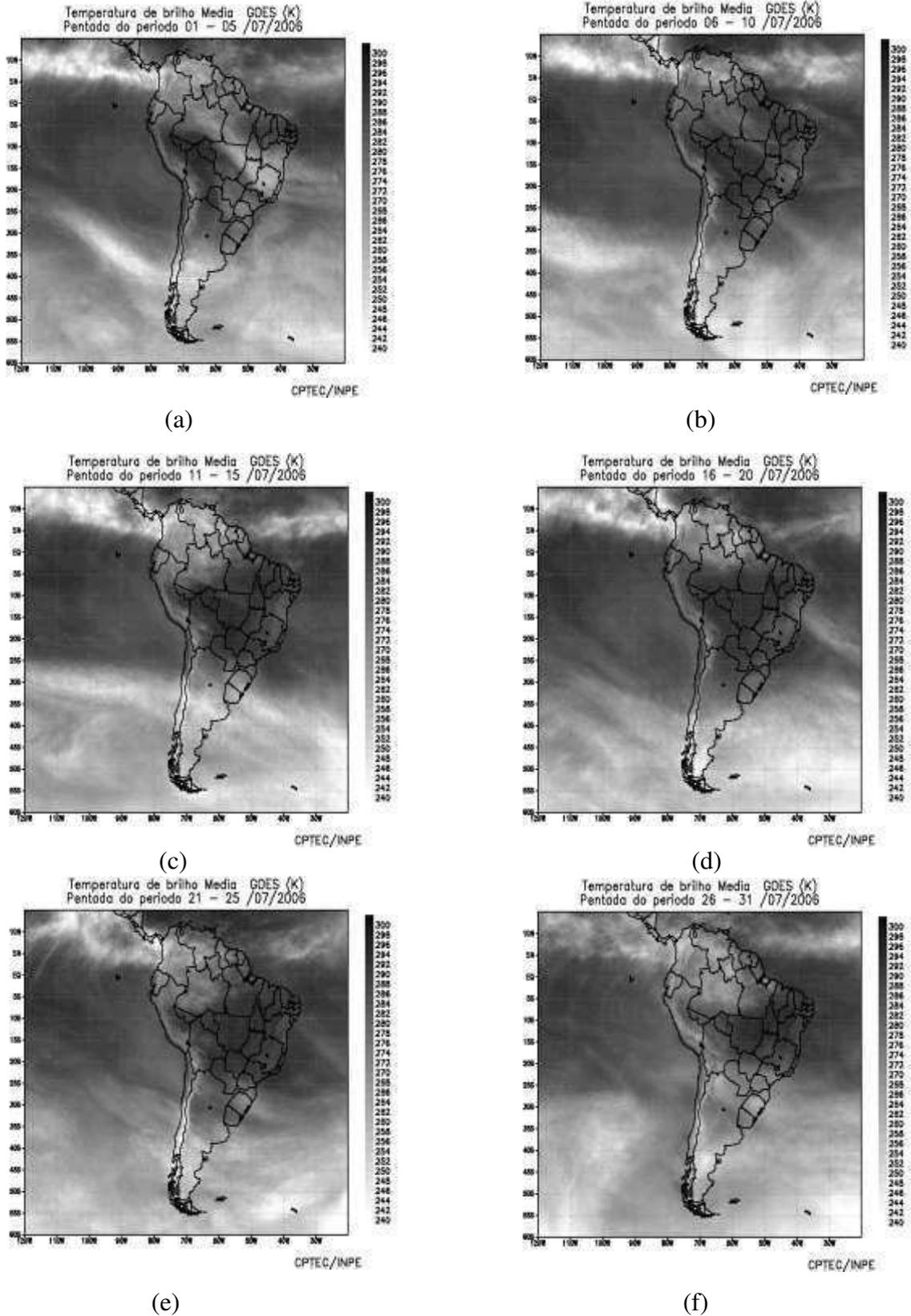


Figura 4.14: Médias pentadais da temperatura de brilho médio (K) obtida de imagens do satélite GOES-E do mês de julho de 2006, para o período de: (a) 1 a 5, (b) 6 a 10, (c) 11 a 15, (d) 16 a 20, (e) 21 a 25 e (f) 26 a 31. A escala de cinza (K) é vista à direita de cada imagem. (Fonte: Climanalise, 2006)

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem início com a apresentação da variação sazonal da precipitação em Salvador para o biênio 2005-2006, com ênfase no período de dezembro de 2005 a julho de 2006. Na sequência são discutidos os campos mensais da média e da anomalia (com respeito ao período 1979-2010) de variáveis atmosféricas em superfície e altitude.

5.1 Precipitação em Salvador

A Figura 5.1, obtida com base nos dados da estação climatológica principal do INMET em Salvador, ilustra os totais mensais de precipitação dos anos de 2005 e 2006, e a normal climatológica dessa estação para o período de 1961-1990 (RAMOS et al., 2009).

Apesar do foco deste estudo ser o período chuvoso de 2006, os valores de 2005 estão representados no gráfico com o objetivo de possibilitar a visualização da variação sazonal da precipitação a partir daquele ano. Os totais do quadrimestre chuvoso (AMJJ) de 2005 e 2006 estão representados no gráfico, e correspondem a 108,1% e 135,7% da normal climatológica, respectivamente.

No ano de 2006 houve seis meses com totais pluviométricos acima da média. Os valores relativamente mais elevados foram os dos meses de abril (587,4 mm), junho (401,6 mm) e outubro (258,9 mm), que representam 189,7%, 164,8% e 125,3% da normal climatológica, respectivamente.

Resultados obtidos por Barreto (2012) mostram que nos meses do quadrimestre AMJJ de 2006 houve 25, 21, 22 e 15 dias com chuva, respectivamente, valores próximos da média do período 1964-2009. Em contrapartida, o número de eventos extremos foi máximo: nove, dos quais cinco ocorreram no mês de abril. Barreto contabilizou como evento extremo todo total diário igual ou maior do que 50 mm, o nonagésimo oitavo percentil da série pluviométrica utilizada.

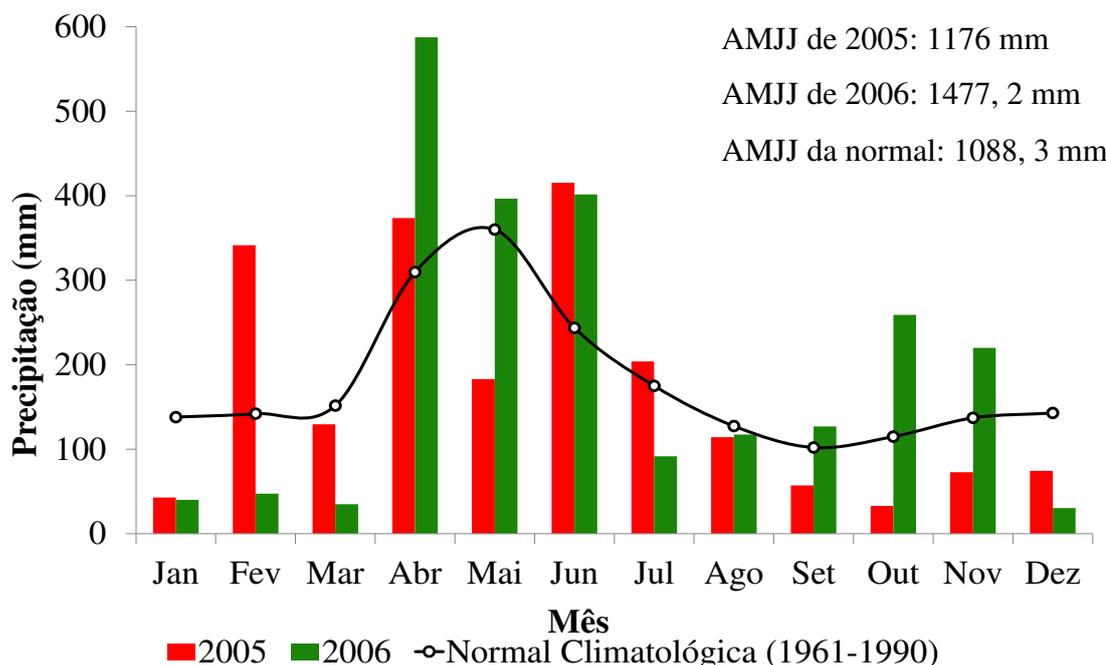


Figura 5.1: Totais pluviométricos mensais referentes aos anos de 2005 (vermelho), 2006 (verde) e da climatologia (linha preta) da estação do INMET, em Salvador. A legenda do gráfico evidencia o total pluviométrico do quadrimestre chuvoso, que abrange o período de abril a julho (AMJJ). (Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)).

5.2 Pressão ao Nível Médio do Mar

A distribuição de altas pressões subtropicais com núcleos em torno de 30° de latitude sobre os oceanos é evidente nos campos médios da pressão ao nível médio do mar (PNMM). Esses sistemas estão associados à circulação média meridional da atmosfera, na área dos ramos descendentes das células de Hadley. Dentre as altas subtropicais, a ASAS se destaca pela sua importância para o tempo e o clima da AS (BASTOS & FERREIRA, 2000).

A análise conjunta dos campos da média e da anomalia de dezembro de 2005 (Fig. 5.2) indica que as altas subtropicais estão menos intensas na área do Atlântico (anomalias negativas), exceto no extremo norte e sul do mapa. Anomalias negativas também são vistas na metade norte da AS, na África e na Austrália-Oceania (Fig. 5.2b), um indicativo de que as áreas de pressão baixa estão mais intensas neste mês. Os valores negativos no norte da África indicam enfraquecimento da área de pressão alta. Em contrapartida, anomalias positivas são evidentes na metade sul da AS e Atlântico próximo, relacionadas com a alta que tem pressão central de 1014 hPa, localizada sobre o oceano (Fig. 5.2a). De maneira geral, em comparação com a climatologia, na AS (e Atlântico próximo) as condições são mais (menos) favoráveis à

convergência de massa na metade norte (sul) do continente. Neste mês o total pluviométrico é inferior à normal climatológica de Salvador (Fig. 5.1).

No mês de janeiro de 2006, permanecem anomalias negativas sobre a África e a Austrália-Oceania, enquanto que na área do Atlântico as anomalias são positivas ao norte de 15°N (Fig. 5.3b), uma indicação de ASAN com intensidade acima da média neste mês (Fig. 5.3a). Na AS, a alta pressão anômala aumenta de área, estendendo-se para nordeste-leste sobre o continente e o sudoeste do Atlântico Sul. Permanecem anomalias negativas no norte da AS, enquanto que a isolinha de -1 hPa sobre o Atlântico, ao norte do equador, indica que o cavado equatorial se encontra mais intenso e/ou deslocado para sul em relação à climatologia. De maneira geral, nas áreas oceânicas subtropicais do HS as anomalias têm sinal contrário àquele visto no mês anterior. Neste mês o total pluviométrico de Salvador é inferior à normal climatológica (Fig. 5.1).

Fevereiro de 2006 mostra o enfraquecimento da ASAS no leste da AS e área oceânica próxima. Anomalias negativas são visualizadas em todo o leste da AS (Fig. 5.4b). Além disso, a configuração da isóbara de 1012 hPa no campo médio (Fig. 5.4a), indica a presença do cavado da ZCAS, a leste das regiões Sul-Sudeste do Brasil, em concordância com a discussão da subseção 4.4.4. No campo das anomalias a mudança se traduz na baixa intensa (Fig. 5.4b) vista na mesma área em que havia uma alta anômala no mês anterior (Fig. 5.3b). No Atlântico, África (exceto no sul) e Oceania dominam anomalias negativas, indicando o enfraquecimento da ASAN e da ASAS e a intensificação dos centros de pressão baixa situados nas demais regiões. Em particular, o núcleo de anomalias negativas visto a leste da Austrália sugere que a Zona de Convergência do Pacífico Sul está mais intensa neste mês. Anomalias positivas dominam a Austrália e grande parte do Índico Sul. No Pacífico Equatorial as anomalias são positivas. O total pluviométrico deste mês também é inferior à normal climatológica de Salvador (Fig. 5.1).

O campo das anomalias de março de 2006 (Fig. 5.5b) mostra características visivelmente contrastantes com as do mês anterior (Fig. 5.4b). Na área do Atlântico há anomalias intensas em latitudes subtropicais, com sinal positivo (negativo) no HS (HN) (Fig. 5.5b). Dessa forma, a ASAS apresenta intensidade superior à da climatologia e à do mês anterior (Fig. 5.4 a). Entretanto, ao sul de 15°S permanecem as anomalias negativas sobre parte da AS e sudoeste do Atlântico Sul, resultado consistente com os eventos de ZCAS discutidos na subseção 4.4.4. Na África, as anomalias negativas têm menor intensidade e se restringem ao HN; valores positivos dominam o restante do continente. Na Austrália as

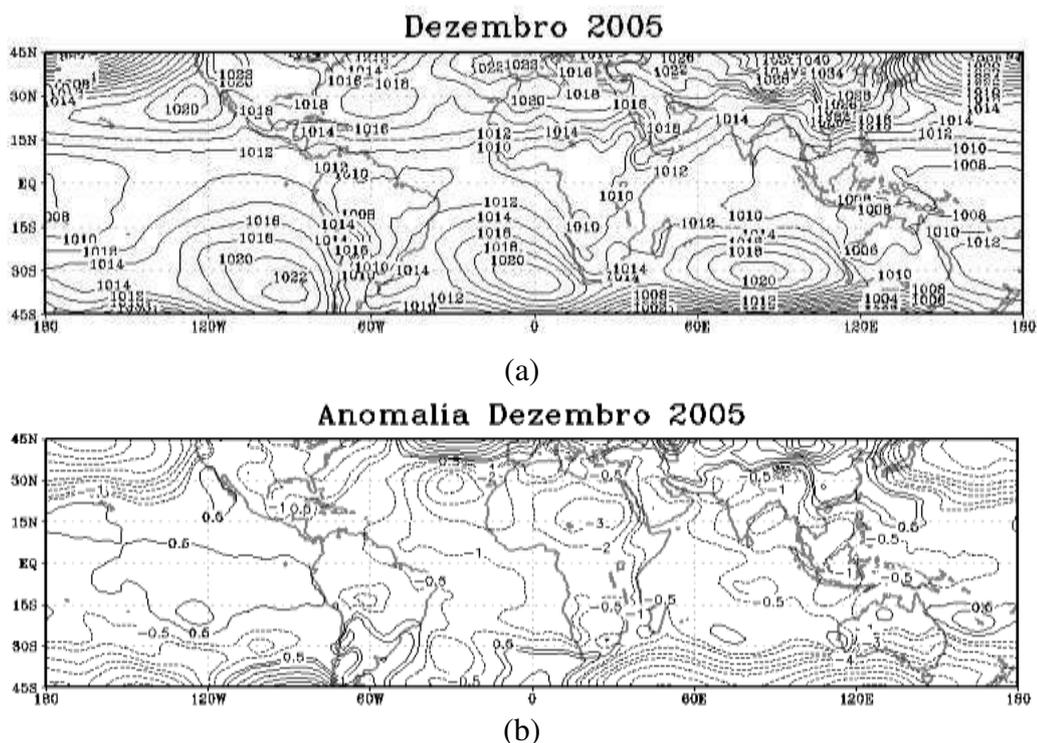


Figura 5.2: Pressão ao nível médio do mar (hPa) para dezembro de 2005: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

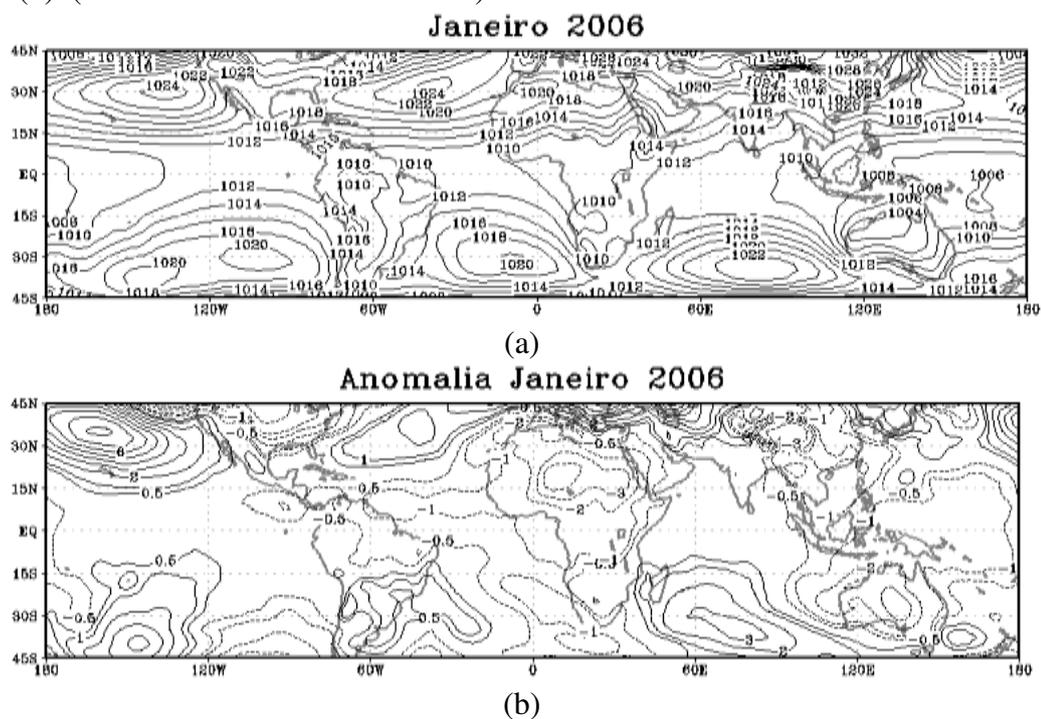


Figura 5.3: Pressão ao nível médio do mar (hPa) para janeiro de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

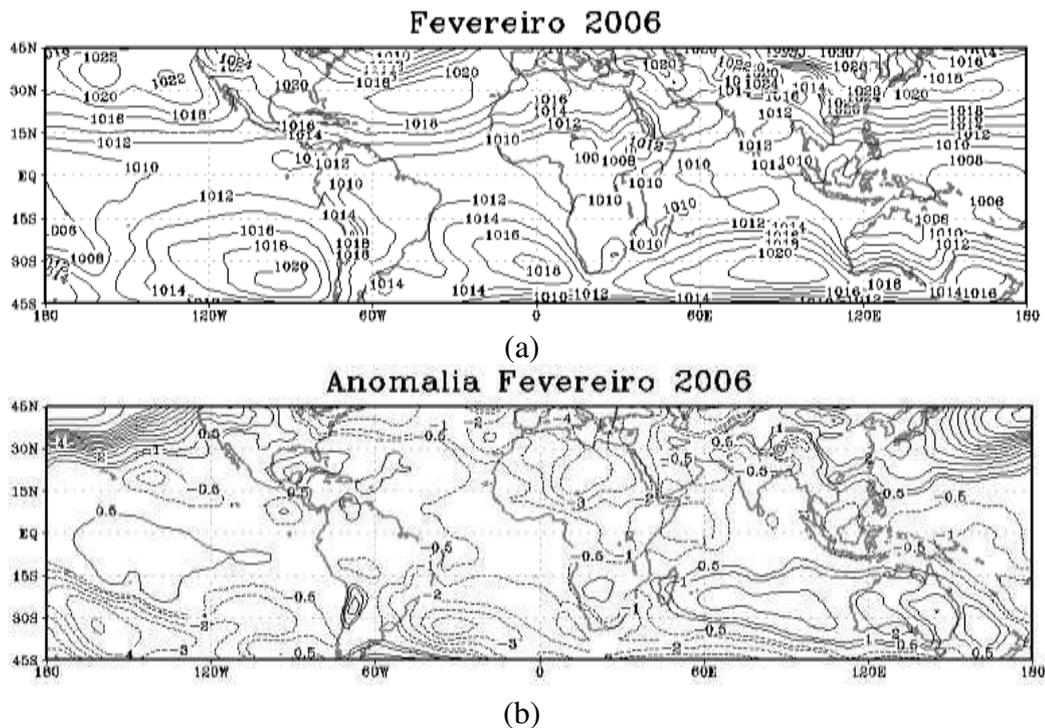


Figura 5.4: Pressão ao nível médio do mar (hPa) para fevereiro de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

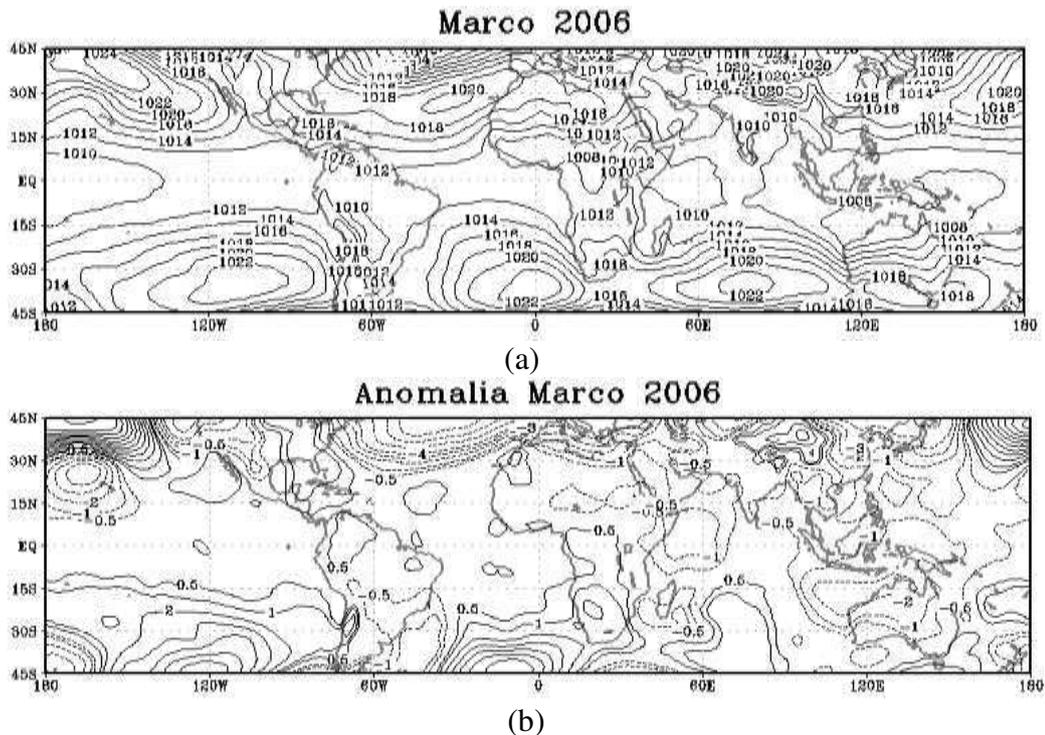


Figura 5.5: Pressão ao nível médio do mar (hPa) para março de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

anomalias são negativas (Fig. 5.5b), o que contrasta com o mês anterior (Fig. 5.4b). Na área da Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) e da Alta Subtropical do Índico Sul (ASIS) as anomalias são positivas, indicando que esses sistemas também estão mais intensos em comparação com a climatologia. Na área do Atlântico e Pacífico Equatorial não há um padrão definido de anomalias. Neste mês Salvador ainda registra total pluviométrico abaixo da normal climatológica (Fig. 5.1).

O mês de abril de 2006 mostra, em geral, anomalias mais fracas ou de sinal oposto (Fig. 5.6b) às do mês anterior (Fig. 5.5b). Por outro lado, o Atlântico volta a apresentar anomalias negativas em toda a sua extensão, exceto ao sul de 30°S na sua área leste. No leste da AS e oeste do Atlântico há uma baixa anômala (Fig. 5.6b), evidenciada no campo médio pela área de cavado situada sobre o oceano, próximo ao continente: um cavado invertido de pequena amplitude a leste do NEB e, ao sul, um cavado no escoamento de oeste (Fig. 5.6a). Essa configuração é indicativa de uma interligação/interação entre a circulação de latitudes baixas e a circulação de latitudes médias/subtropicais, a exemplo do estudo de caso do evento extremo de chuva do dia 21 de abril de 2006 realizado por Santos (2008).

É importante destacar que a presença da baixa anômala implica numa condição favorável à convergência de massa, o que deve ter contribuído para o total pluviométrico 89,7% acima da normal de Salvador ilustrado na Figura 5.1. A atuação e interação de sistemas meteorológicos observadas no decorrer desse mês foram discutidas na subseção 4.4.4. Na África há apenas anomalias negativas, no noroeste e no nordeste do continente. Na Austrália-Oceania as anomalias negativas indicam que o sistema de pressão baixa situado no norte dessa região está mais intenso, enquanto que no restante da Austrália a área de pressão relativamente alta está enfraquecida. A ASPS também se mostra menos intensa, evidenciando dois núcleos na configuração média (Fig. 5.6a).

De maneira geral, núcleos mais intensos de anomalia são vistos em maio de 2006 (Fig. 5.7b), em comparação com o mês anterior (Fig. 5.6b). Uma área de anomalias positivas se estende na região equatorial sobre o Pacífico central e leste, a AS, o Atlântico e a África, sugerindo que o cavado equatorial está deslocado para norte relativo à climatologia, em consonância com a ASAN menos intensa indicada pelas anomalias negativas situadas ao norte de 15°N sobre o Atlântico. Anomalias positivas dominam a AS, a África e a Austrália, áreas onde são vistos fortes centros de pressão alta (Fig. 5.7a). A área subtropical do Atlântico Sul apresenta um padrão de dipolo de anomalias, com um núcleo negativo centrado em 30°S, ao norte de uma área de fortes anomalias positivas. Essa anomalia negativa corresponde a uma

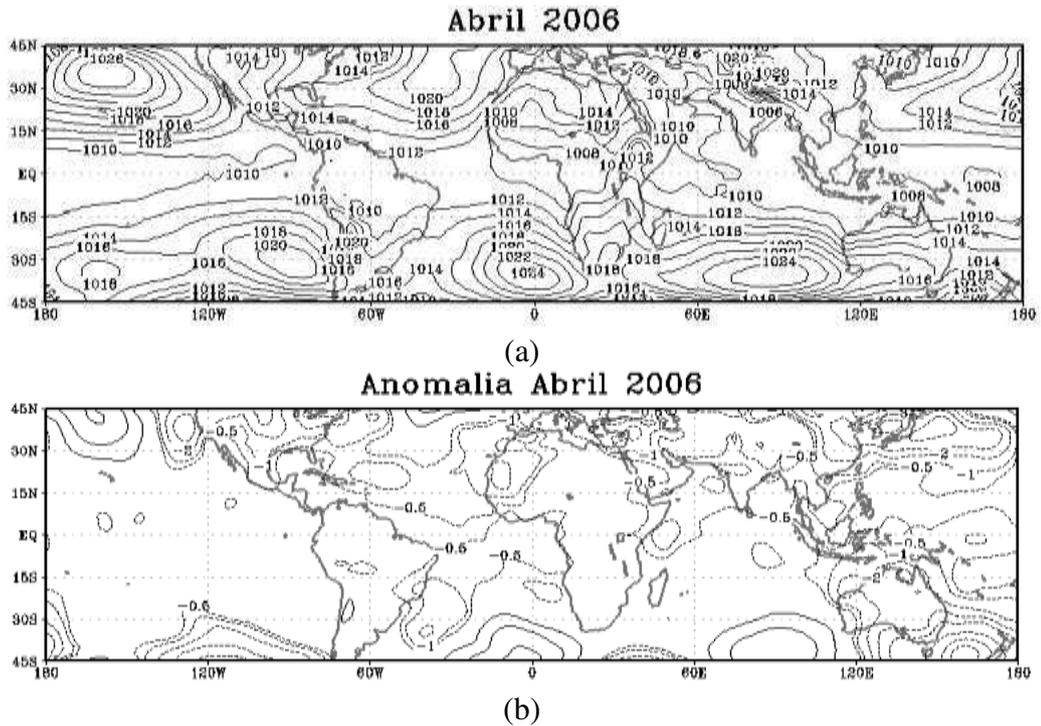


Figura 5.6: Pressão ao nível médio do mar (hPa) para abril de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

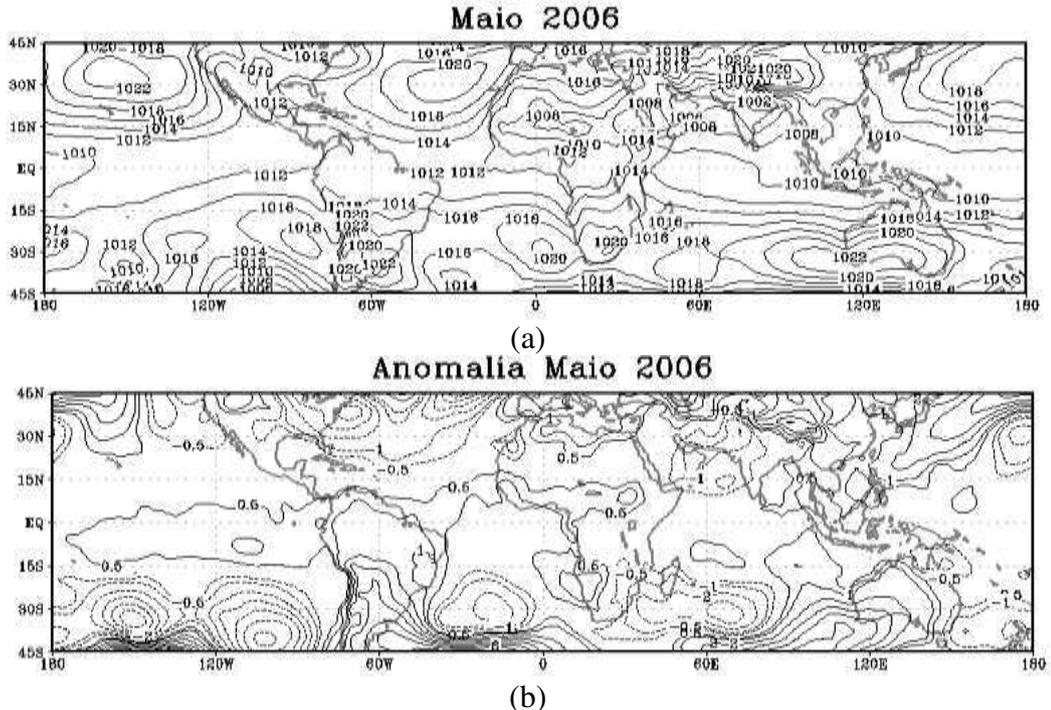


Figura 5.7: Pressão ao nível médio do mar (hPa) para maio de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

área de baixa/cavado no campo médio (Fig. 5.7a), que também evidencia um cavado invertido a leste do NEB, uma estrutura semelhante àquela vista no mês anterior (Fig. 5.6a). A ASPS está ainda mais enfraquecida neste mês, conforme evidenciam o campo médio (Fig. 5.7a) e o da anomalia (Fig. 5.7b). Neste mês o total pluviométrico de Salvador está muito próximo da climatologia (Fig. 5.1).

O campo médio de junho de 2006 (Fig. 5.8a) mostra as altas subtropicais mais intensas do que no mês anterior (Fig. 5.7a), uma mudança esperada nessa época do ano. No campo das anomalias o sinal dos núcleos está em consonância com essa mudança, exceto na área do Pacífico, com anomalias negativas. Dessa forma, apesar de mais intensa do que no mês anterior, essa alta apresenta intensidade abaixo da média nesse mês. Na área da AS a circulação da ASAS domina o leste do continente, com intensidade acima da média, conforme evidenciado pelo campo das anomalias (Fig. 5.8b). Apesar disso, a configuração das isóbaras no leste do NEB e área oceânica próxima sugere a presença de um cavado invertido (Fig. 5.8a), uma estrutura associada à ocorrência de chuva na faixa costeira leste. Na área equatorial são vistas anomalias apenas no NEB, no oeste da África e oceano próximo ao sul do equador, e no oeste do Pacífico. A precipitação observada neste mês é 64,8% superior à climatologia (Fig. 5.1); um único evento de chuva forte, registrado na madrugada do dia 12, representou 40% da normal climatológica da cidade de Salvador (SANTOS, 2008).

No mês de julho a pressão central das altas subtropicais (Fig. 5.9a) é igual à do mês anterior (Fig. 5.8a), com exceção da alta do Índico Sul, onde a pressão é maior, e da alta no centro-sul da Austrália, onde a pressão é menor. A distribuição das anomalias nessas áreas, ao sul de 15°S, mostra valores positivos, em contraste com os valores negativos no leste do Pacífico, na AS e no sul da África (ASPS e ASAS com intensidade abaixo da média). Na área equatorial há anomalias positivas no Pacífico Sul, no NEB, no leste da África e no Índico (Fig. 5.9b). A configuração do campo médio indica que o cavado equatorial está ao norte do equador e que há um cavado invertido de pequena amplitude a leste do NEB. No continente asiático a baixa de monção está mais intensa (anomalias negativas), uma condição mais favorável às chuvas de verão. O total pluviométrico do mês de julho representa cerca de 50% do valor climatológico de Salvador.

Considerando a discussão acima, tendo como foco a precipitação em Salvador, é importante destacar o mês de abril, devido à forte interligação entre a magnitude do total mensal de chuva (189,7% da normal) e o campo das anomalias da PNMM, que mostra uma baixa (convergência de massa) anômala no leste do NEB e oceano próximo. Outra

característica importante, esta comum aos quatro campos médios de AMJJ, é o cavado invertido no leste do NEB e área oceânica próxima, uma indicação de convergência de massa nessa região. No mês de abril, em particular, há um cavado no escoamento de oeste sobre a área oceânica ao sul, o que indica uma interligação/interação entre sistemas de circulação de latitudes baixas e de latitudes médias/subtropicais.

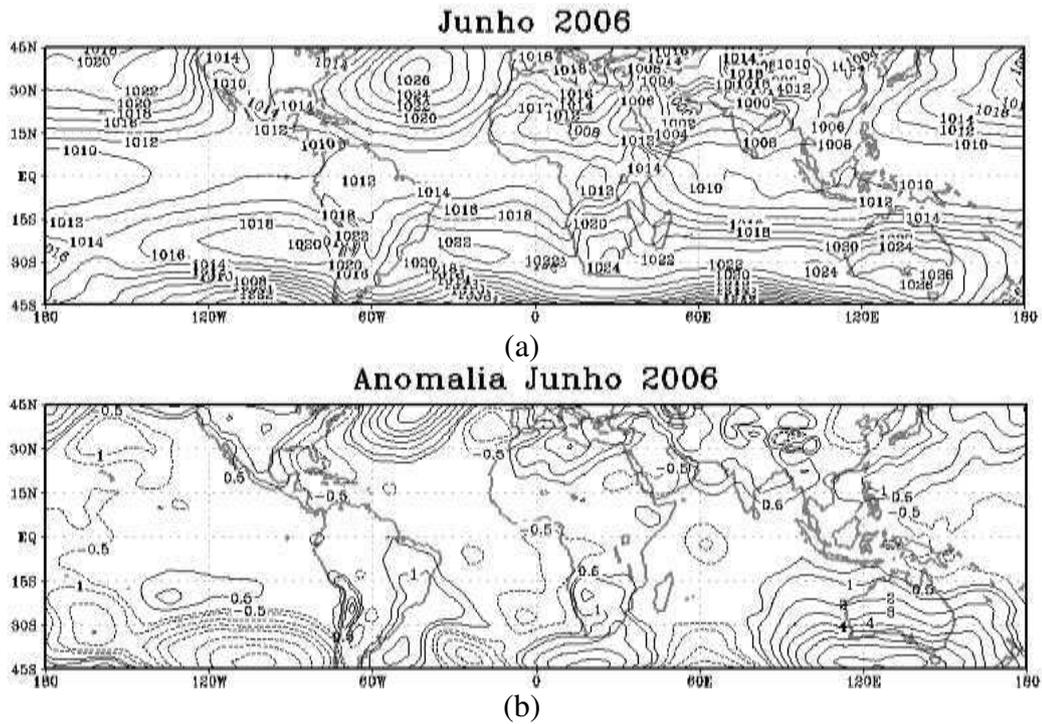


Figura 5.8: Pressão ao nível médio do mar (hPa) para junho de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

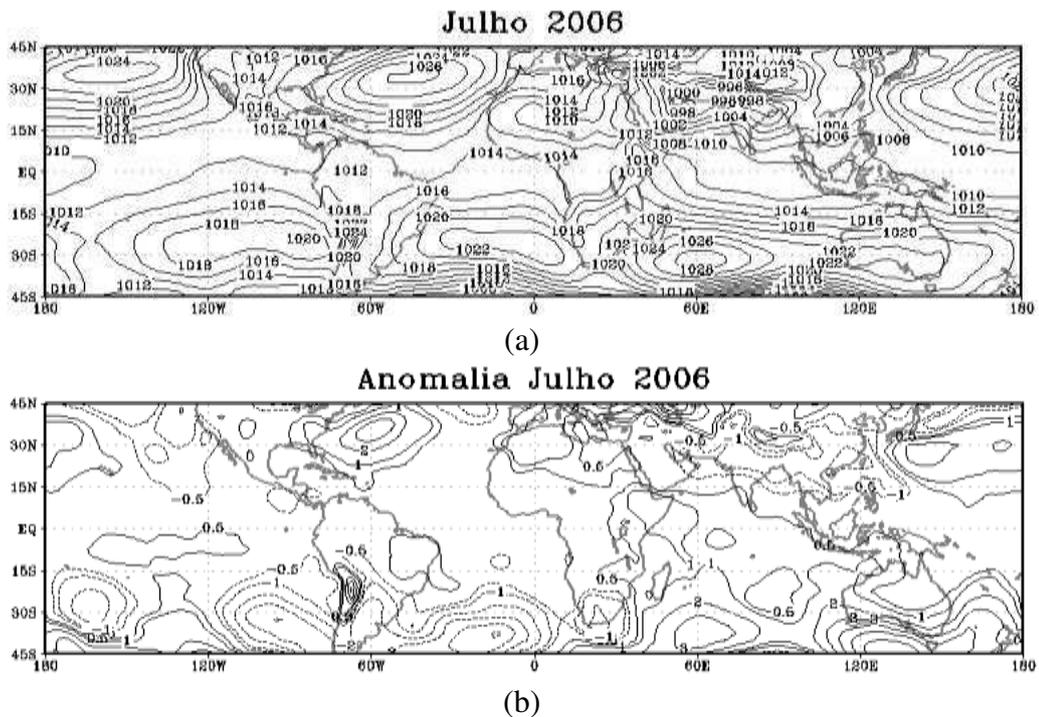


Figura 5.9: Pressão ao nível médio do mar (hPa) para julho de 2006: (a) média e (b) anomalia em relação ao período 1979-2010. O intervalo de análise é de 2 hPa em (a) e de 0,5 hPa em (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

5.3 Vento em 850 hPa

De maneira geral, os campos médios e de anomalias do vento discutidos a seguir corroboram os resultados obtidos com a análise da PNMM.

O campo do vento anômalo do mês de dezembro de 2005 (Fig. 5.10b) mostra confluência ao norte do NEB na área do Atlântico e um anticiclone ao sul de 15°S, sobre a AS e oceano próximo, em concordância com a Figura 5.2b. Esse anticiclone anômalo também é indicado no campo médio (Fig. 5.10a). Outras áreas com circulações anômalas (ciclônicas) são o norte da África e o sul da Austrália. Ventos anômalos de leste e de oeste confluem na área equatorial ao norte da Austrália, indicando a maior intensidade da circulação ciclônica nessa área do globo.

De maneira geral, o campo de anomalias de janeiro de 2006 (Fig. 5.11b) apresenta configurações mais definidas, em comparação com o mês anterior (Fig. 5.10b), como a confluência ao norte do equador e os ventos na área do ASAN, que podem ser associadas à maior intensidade dos sistemas semipermanentes situados nessa área do globo (Fig. 5.11a). Ao sul de 15°S, na AS e Atlântico próximo, observa-se maior intensidade da circulação anticiclônica, o mesmo acontecendo com a circulação ciclônica no norte da África. Na área da Austrália-Oceania (circulação ciclônica) e centro-oeste do Índico (circulação anticiclônica) as configurações anômalas indicam que o centro ciclônico e o ASIS, situados nessas áreas, estão mais intensos. As anomalias discutidas guardam estreita relação com as da Figura 5.3b.

O campo de anomalias de fevereiro de 2006 (Fig. 5.12b) tem configurações que diferem consideravelmente daquelas vistas no mês anterior (Fig. 5.11b). Na área do Atlântico a confluência está centrada no equador e os ventos alísios estão enfraquecidos em toda a faixa equatorial, inclusive no litoral do Nordeste. Ao sul de 15°S, no leste da AS e Atlântico, há um centro ciclônico, enquanto que na parte central do continente observa-se confluência dos ventos de noroeste e sudoeste. Esse conjunto de características está em concordância com a discussão da subseção 4.4.4, e com o resultado dos campos da PNMM (Fig. 5.4), que indicam a atuação da ZCAS. Outra área na qual a circulação anômala se apresenta invertida em comparação com o mês anterior é a faixa equatorial ao norte da Austrália, que tem ventos anômalos de sudeste; a forte confluência a leste da Austrália é indicativa da ZCPS com intensidade acima da média. Na área do Atlântico Norte e norte da África as anomalias mantêm a direção, mas apresentam magnitude menor.

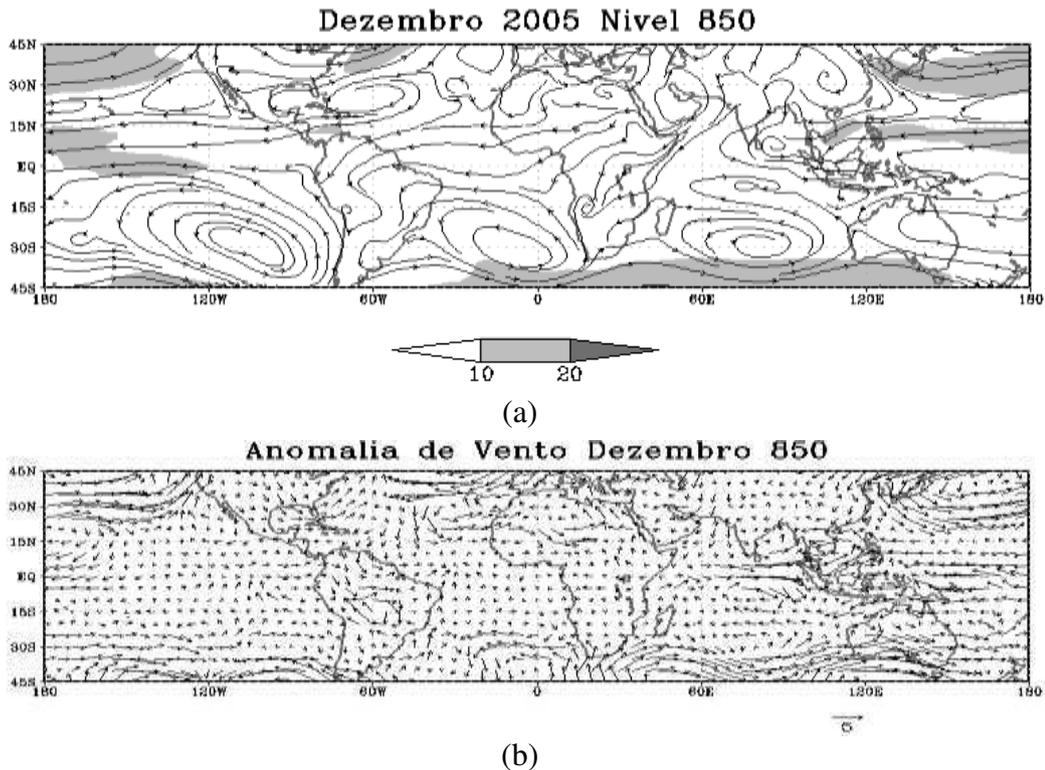


Figura 5.10: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para dezembro de 2005, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

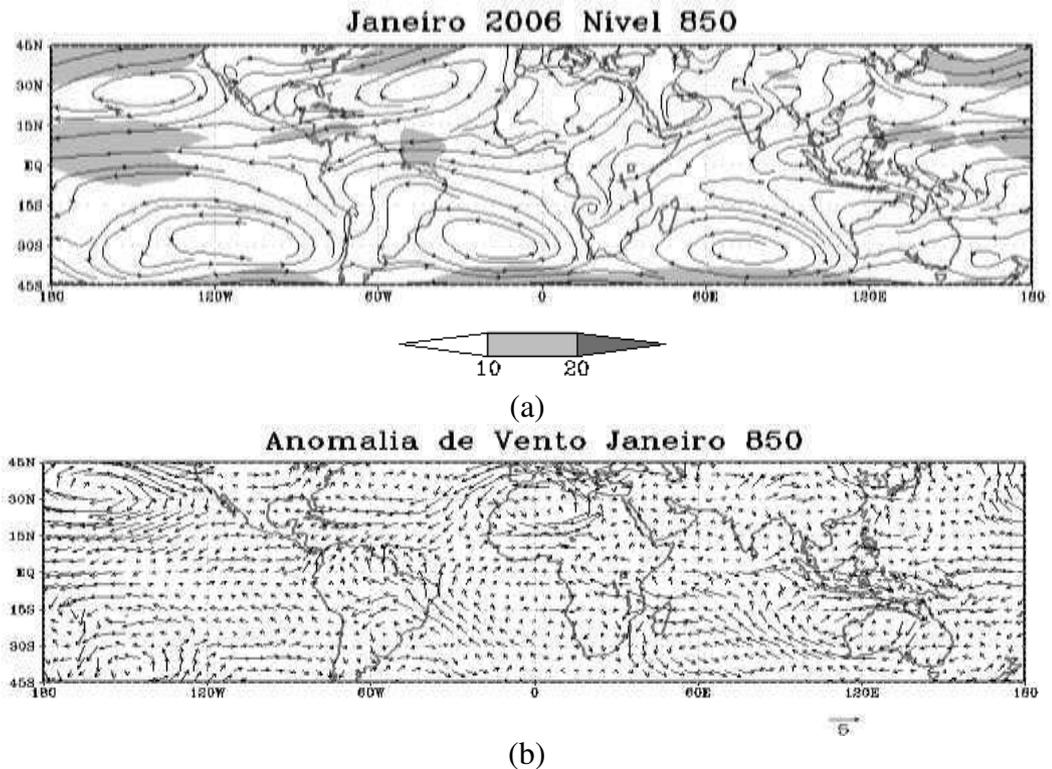


Figura 5.11: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para janeiro de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

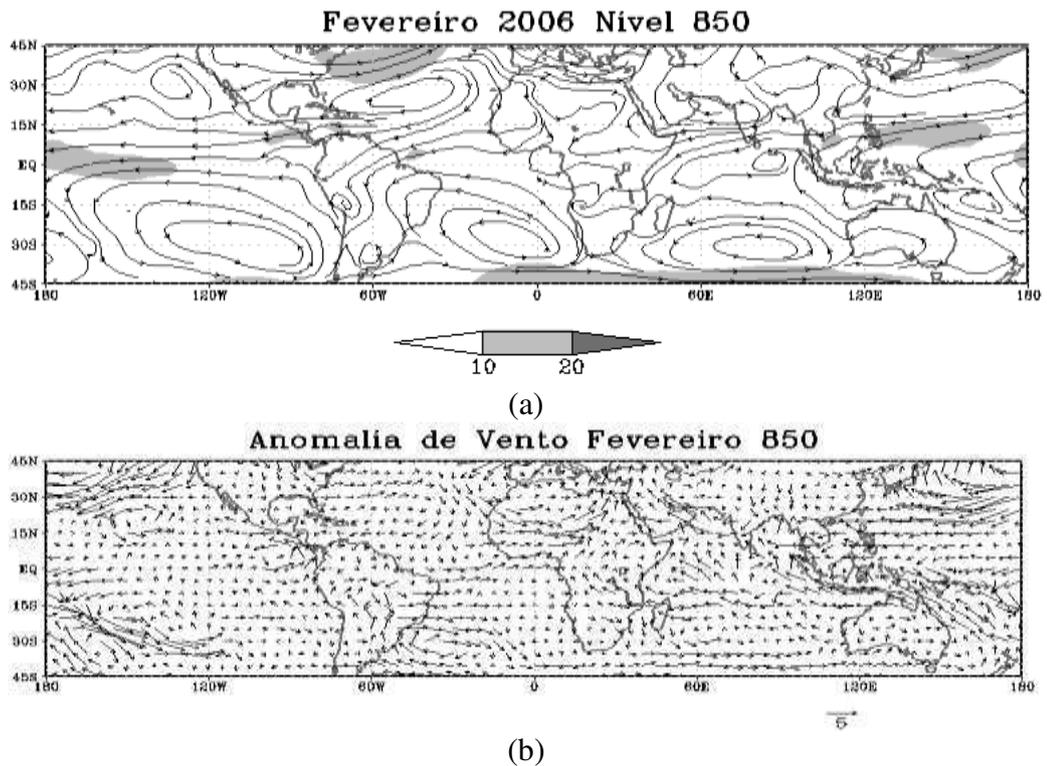


Figura 5.12: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para fevereiro de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

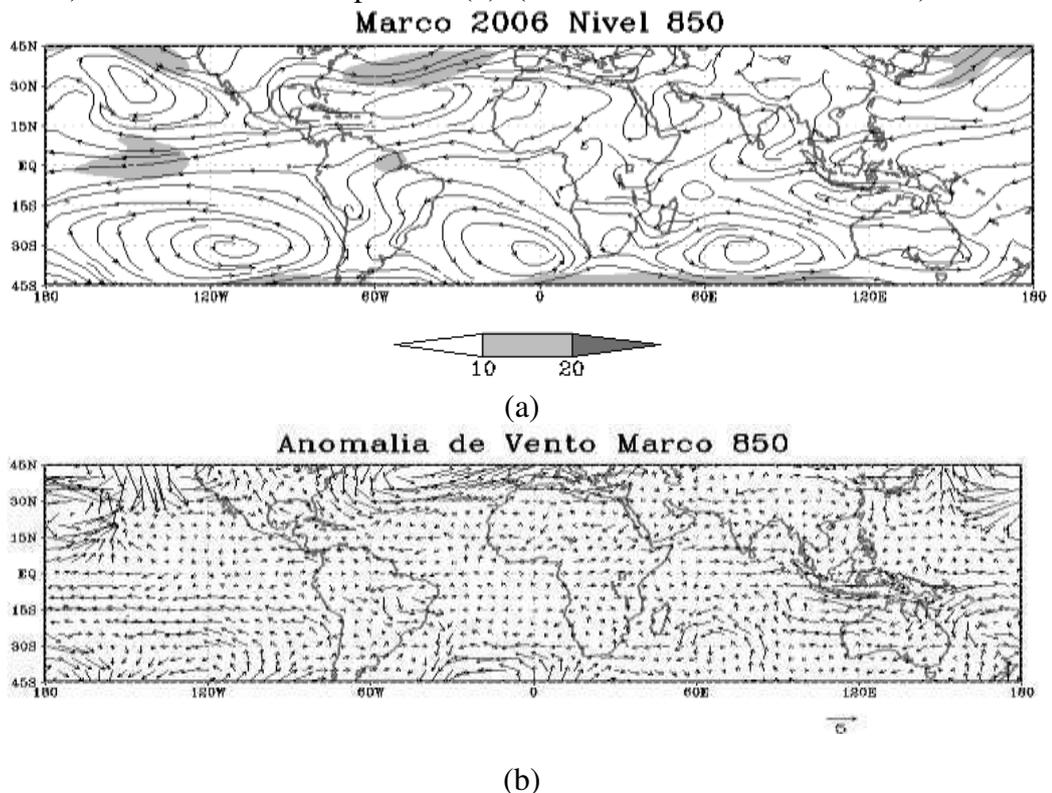


Figura 5.13: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para março de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

No mês de março de 2006 persiste a confluência anômala na AS, porém posicionada sobre o Centro-oeste e o Sudeste (Fig. 5.13b). Também permanece a circulação ciclônica no leste da AS e Atlântico e confluência associada, ao sul de 15°S, o que também foi encontrado no campo das anomalias da PNMM (Fig. 5.5b), embora com menor intensidade. Essas duas estruturas estão diretamente relacionadas com os eventos de ZCAS desse mês tratados na subseção 4.4.4. No campo médio do vento elas são representadas pela configuração ciclônica das linhas de corrente no centro-leste do continente (Fig. 5.13a). Outras áreas do HS mostram características consideravelmente diferentes no campo das anomalias em comparação com o mês anterior. Há anticiclones anômalos no centro-leste do Pacífico e no centro do Atlântico, e confluência dos ventos de leste-nordeste e oeste-noroeste ao norte da Austrália, uma indicação de maior intensidade da circulação ciclônica nessa área (Fig. 5.13a). No Índico o anticiclone anômalo está mais configurado, indicando um reposicionamento ou intensificação da ASIS. Nas latitudes subtropicais do HN, o padrão de anomalias (Fig. 5.13b) difere muito daquele do mês anterior (Fig. 5.12b): fortes circulações ciclônicas são vistas sobre o Pacífico e o Atlântico, enquanto que as anomalias são fracas no norte da África, que mostra um ciclone anômalo em fevereiro.

O campo médio em conjunto com o das anomalias do mês de abril de 2006 indica ventos alísios com menor intensidade no NEB e área oceânica próxima (Fig. 5.14b), onde há um cavado invertido de pequena amplitude (Fig. 5.14a); um cavado no escoamento de oeste é visto ao sul, indicando que o ASAS está enfraquecido próximo do continente. No campo das anomalias um ciclone atua nessa área, ao sul de 15°S, onde há um núcleo de anomalias negativas da PNMM (Fig. 5.6b). A forte anomalia anticiclônica no centro-leste do Atlântico Sul resulta do reposicionamento do ASAS. No restante do HS se destaca a forte circulação anticiclônica no leste do Índico (Fig. 5.14a), uma indicação de que a ASIS está centrada a leste da posição ocupada no mês anterior (Fig. 5.13a). Outras áreas de anomalias fortes são o extremo norte da Austrália e a Oceania (onde há confluência de ventos de leste e oeste, na área do cavado equatorial), e o sul da Austrália e oceano próximo (núcleo ciclônico com confluência sobre o oceano). No Pacífico Equatorial, próximo do equador, há confluência dos ventos anômalos (Fig. 5.14b). Contrastando com o mês anterior, as anomalias são fracas nos subtrópicos do HN, exceto no centro-leste do Pacífico. É importante destacar que a configuração ciclônica das anomalias no leste da AS e oceano próximo tem semelhança com o campo do vento anômalo em 925 hPa do trimestre MAM, na composição de anos com

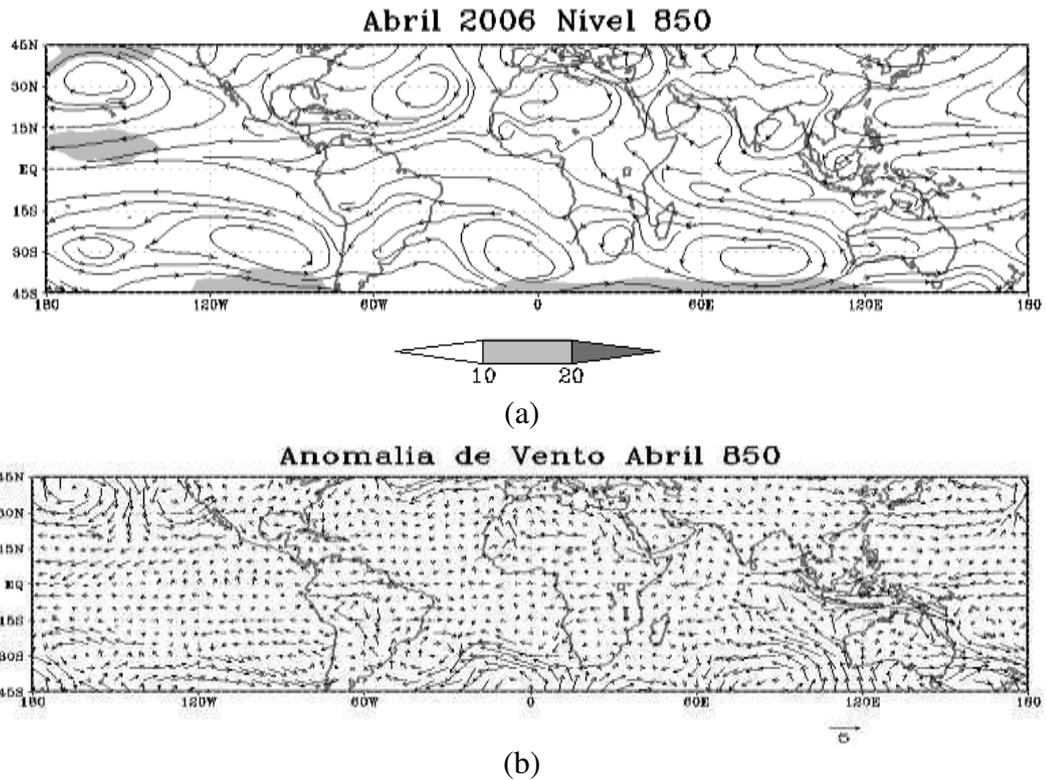


Figura 5.14: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para abril de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

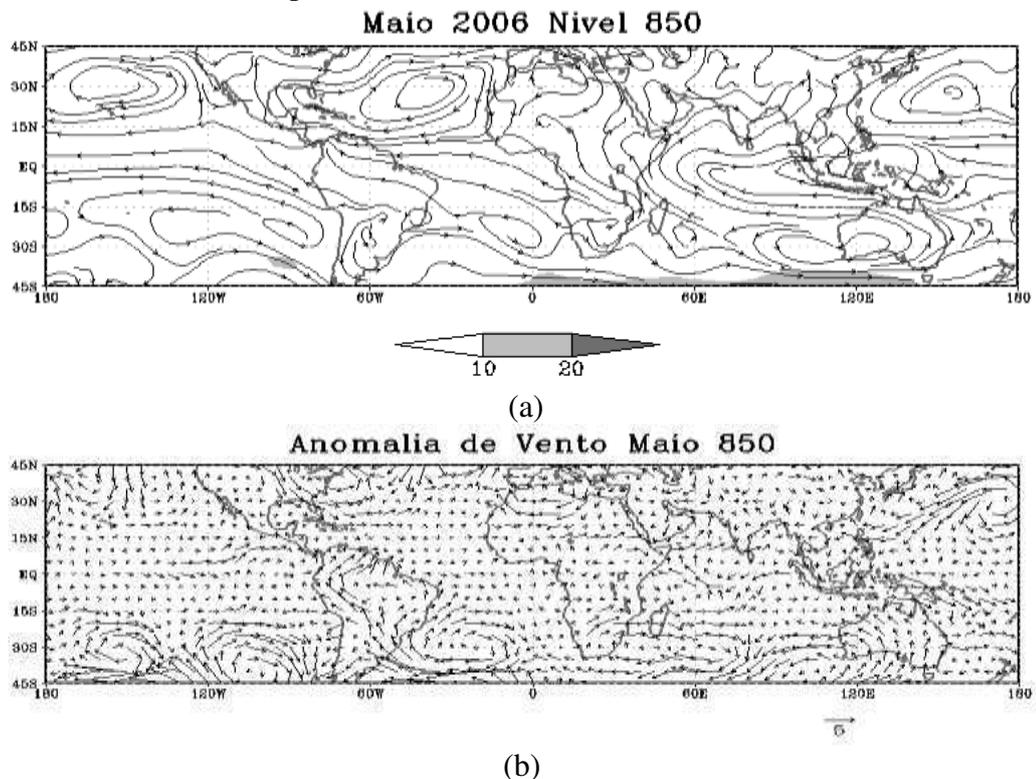


Figura 5.15: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para maio de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

condições neutras de ENOS e ATSM positivas no ATS ilustrado na Figura 11b de Andreoli & Kayano (2006).

No mês de maio de 2006 as circulações anômalas no leste da AS e Atlântico estão mais configuradas, tanto os ventos anômalos de sudoeste no NEB e Região Sudeste, quanto o ciclone centrado no Atlântico (Fig. 5.15b). A consequência dessas anomalias é o ASAS menos intenso, subdividido em duas células, separadas por um cavado invertido a leste do NEB e um cavado no escoamento de oeste sobre o oceano, a leste da Região Sul, Uruguai e Argentina (Fig. 5.15a). No campo médio da PNMM são vistas as mesmas configurações (Fig. 5.7a). No restante dos subtrópicos do HS, com exceção do leste do Atlântico, as anomalias também são mais intensas. Assim, também apresentam menor intensidade o ASIS, no oeste do Índico, e o ASPS. Nos subtrópicos do HN, ciclones anômalos são vistos no leste e oeste do Pacífico, e no leste da América do Norte e Atlântico próximo, enquanto que um anticiclone anômalo é visto no noroeste da África. Na área equatorial do Pacífico e Atlântico há ventos anômalos de oeste, ou seja, ventos alísios com intensidade abaixo da média.

O campo das anomalias do mês de junho de 2006 (Fig. 5.16b) mostra configurações opostas às do mês anterior (Fig. 5.15b), no leste da AS e Atlântico próximo: ventos anômalos de sudeste no NEB, no lado equatorial da circulação anticiclônica que atua nessa área. O campo médio (Fig. 5.16a) não evidencia o cavado invertido de pequena amplitude visto na análise da PNMM (Fig. 5.8a). As anomalias também são opostas às do mês anterior no Índico Equatorial, no norte e leste da Austrália, e na Oceania. Na área equatorial do Atlântico e do Pacífico, ao sul do equador, anomalias de leste indicam ventos alísios mais intensos e a ZCIT posicionada ao norte do equador. Paralelamente, na área subtropical do Atlântico Norte as anomalias indicam que o ASAN está deslocado para norte em comparação com a climatologia. De maneira geral, no restante dos subtrópicos do HS as circulações anômalas se mantem, com exceção do sul da África e oeste do Índico, com anomalias anticiclônicas, e do oeste do Pacífico Sul, com fortes anomalias de sul-sudeste.

De maneira geral, no mês de julho de 2006 as circulações anômalas vistas na área subtropical do Pacífico e Atlântico Sul (Fig. 5.17b) são semelhantes àquelas vistas em junho (Fig. 5.16b). Por outro lado, na área equatorial as anomalias são opostas àquelas vistas no mês anterior (Fig. 5.16b). No campo médio (Fig. 5.17a) não há evidência do cavado invertido de pequena amplitude, na área leste do NEB e oceano próximo, discutido na análise da PNMM (Fig. 5.9a). Dessa forma, as anomalias indicam que o ASPS e o ASAS tem intensidade abaixo da média, de acordo com os campos da Figura 5.9. Na área da Austrália há indicação de uma

crista, flanqueada por dois cavados. Nos subtrópicos do HN as circulações anômalas estão mais fracas.

O conjunto de análises do nível de 850 hPa reproduz algumas das principais características das análises da PNMM: (a) no mês de abril, no campo das anomalias, uma circulação ciclônica no leste do NEB e área oceânica próxima; (b) nos campos médios, um cavado invertido no leste do NEB e área oceânica próxima, mas apenas nos meses de abril e maio e, ao sul, no mês de abril (e também em maio neste nível) um cavado no escoamento de oeste.

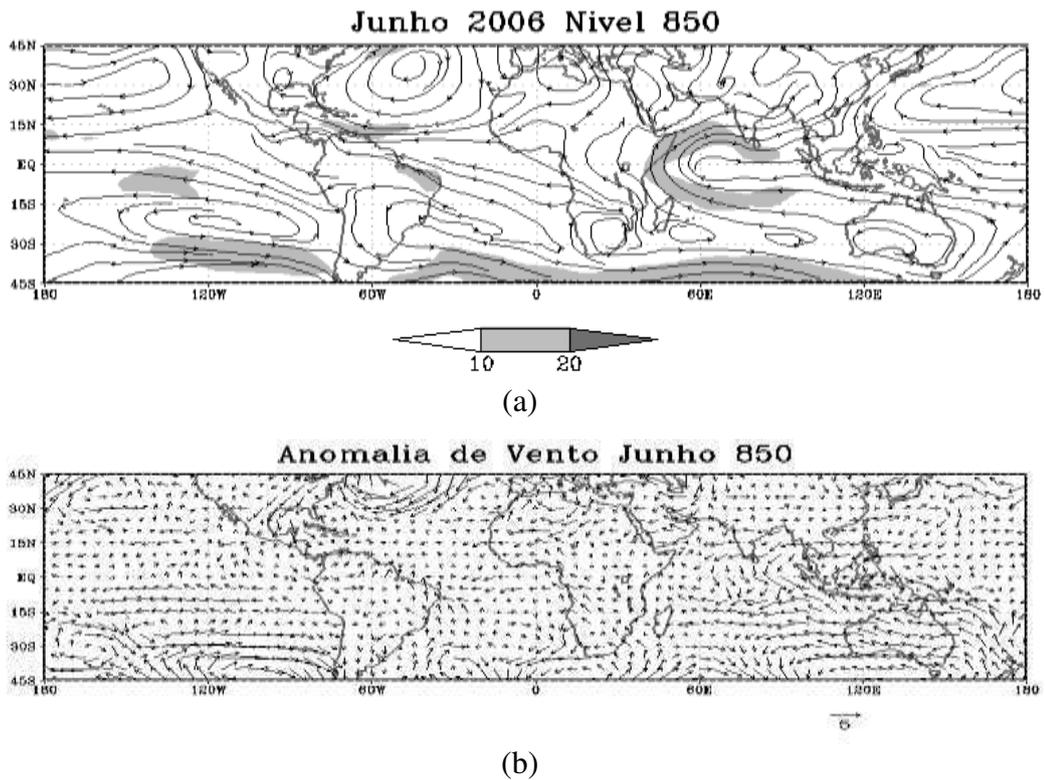


Figura 5.16: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para junho de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

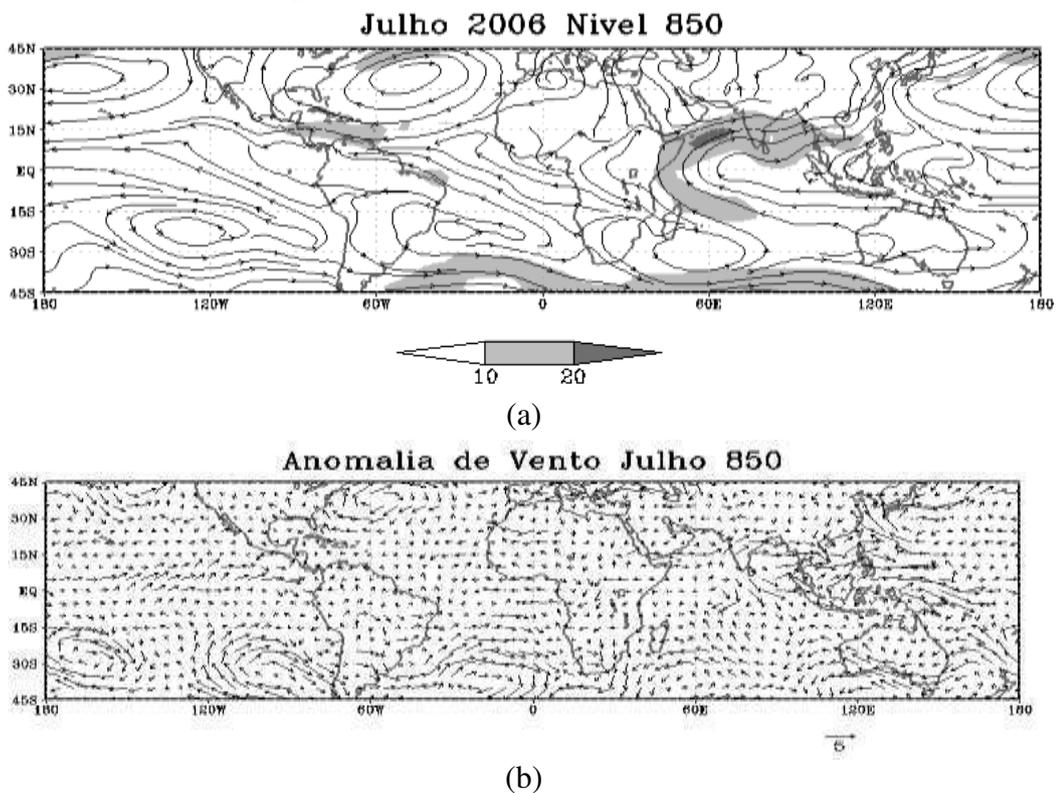


Figura 5.17: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 850 hPa para junho de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

5.2.3 Vento em 200 hPa

Na região da tropopausa, em latitudes médias e/ou subtropicais, é encontrada uma corrente de ar com velocidades máximas e forte cisalhamento horizontal e vertical do vento. Essa estrutura, denominada Jato Subtropical (JST) ou Jato Polar (JP), dependendo de sua posição latitudinal e estrutura vertical, apresenta variabilidade que está diretamente relacionada com a intensidade do gradiente horizontal de temperatura.

O campo médio do vento do mês de dezembro de 2005 (Fig. 5.18a) evidencia na área equatorial-subtropical configurações típicas da alta troposfera nessa época do ano: o cavado do Pacífico Sul, o anticiclone da Bolívia, o cavado do Atlântico Sul e, na África e Austrália-Oceania, um par de anticiclones. Nas latitudes subtropicais do HN há máximos sobre a América do Norte, África e Ásia, associados com anomalias de oeste vistas na Figura 5.18b. Esse campo mostra circulações anômalas bem definidas nos dois hemisférios, como os anticiclones no Pacífico, Atlântico e Índico Sul. Na área da AS observa-se um núcleo ciclônico ao sul de 15°S, e um cavado anômalo a leste do NEB, sugerindo maior intensidade do cavado do Atlântico Sul, com eixo sobre o oceano. Ainda no HS, máximos nos ventos de oeste são vistos sobre o Pacífico, Atlântico, Índico e sul da Austrália (Fig. 5.18a), áreas nas quais há ventos anômalos de oeste (Fig. 5.18b). Vale destacar ainda no campo médio a área com velocidades entre 20 e 40 m/s que se estende sobre o sul da AS, até a Região Sudeste do Brasil.

O campo médio de janeiro de 2006 evidencia, na área equatorial-subtropical, os sistemas discutidos no mês anterior, característicos dessa época do ano (Fig. 5.19a). Na área das correntes de jato há um máximo que se estende sobre a África, Ásia e Pacífico oeste e central, e máximos ao sul da África e da Austrália. Na AS, a área ocupada por velocidades entre 20 e 40 m/s está menor, em comparação com o mês anterior (Fig. 5.18a). No campo das anomalias (Fig. 5.19b) houve mudanças importantes que se refletem no campo médio, como a maior velocidade do vento na área em torno do equador no Pacífico, relacionada com ventos de oeste associados com os ciclones anômalos localizados em cada hemisfério. Ainda, ao norte/sul desses núcleos há centros anticiclônicos. Na área da AS (Brasil) domina um núcleo ciclônico, ladeado por circulações anticiclônicas localizadas no Atlântico. Esse conjunto de anomalias é oposto àquele visto no nível de 850 hPa (Fig. 5.11b) e, visto em conjunto com a discussão da subseção 4.4.4, indica que o cavado de ar superior está deslocado para oeste, em comparação com o mês anterior (Fig. 5.18). Também se destacam no campo de anomalias os

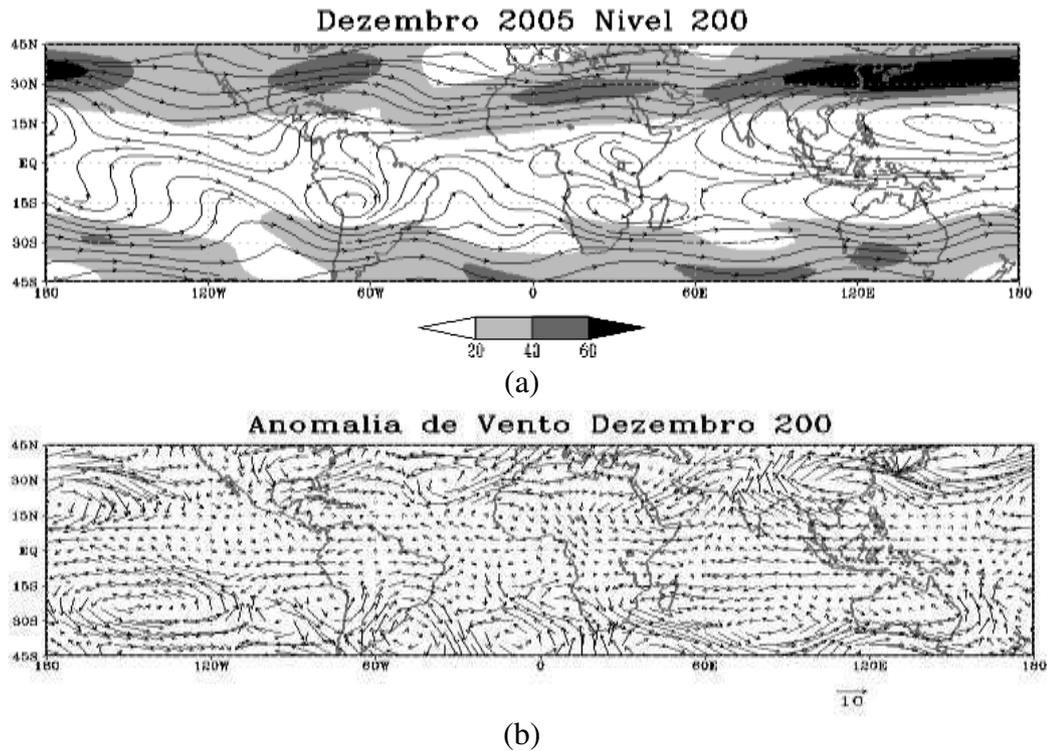


Figura 5.18: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para dezembro de 2005, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

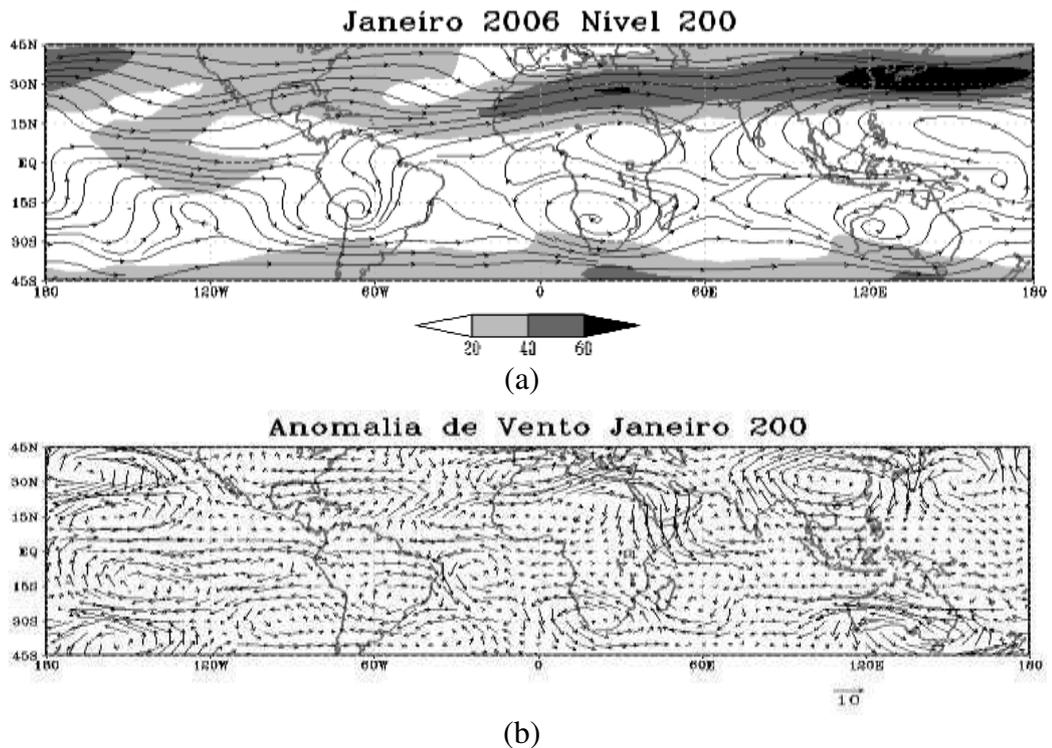


Figura 5.19: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para janeiro de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

núcleos anticiclônicos situados no sul da África e na Austrália.

A configuração geral do campo médio de fevereiro de 2006 (Fig. 5.20a) é semelhante à do mês de janeiro (Fig. 5.19a), exceto na área ao norte do equador na África e na Oceania, onde os anticiclones não se apresentam tão configurados quanto no mês anterior. Permanecem os núcleos de máxima velocidade do vento nos dois hemisférios, mas na AS o jato abrange apenas a faixa latitudinal da Região Sul. No campo das anomalias são evidentes os cavados com grande amplitude no Pacífico, e o ciclone na AS e Atlântico próximo, ao sul de 15°S, este último uma estrutura semelhante a que foi vista na mesma área no nível de 850 hPa (Fig. 5.12b). Na área do NEB e Atlântico, os ventos anômalos de nordeste indicam que o cavado do Atlântico Sul se encontra em posição semelhante àquela do mês anterior. Ciclones anômalos também são vistos no sudeste da África e leste do Índico, e na Austrália e oeste do Pacífico. No HN há anticiclones anômalos na América do Norte, África, Ásia e oeste do Pacífico. Ciclones anômalos são vistos ao norte da AS e no Índico.

No campo médio de março de 2006 ainda se destacam no HS os anticiclones continentais de verão sobre a AS, África e Austrália-Oceania (Fig. 5.21a). Ao norte dos dois últimos, no HN, também são vistos anticiclones. Nesse hemisfério os máximos de velocidade permanecem aproximadamente na mesma posição geográfica do mês anterior (Fig. 5.20a). No HS a faixa latitudinal com velocidades entre 20 e 40 m/s está mais extensa nos três continentes. O campo das anomalias apresenta uma circulação anticiclônica sobre grande parte da AS (Fig. 5.21b), evidenciando que a área ocupada pela circulação do anticiclone (alta) da Bolívia é mais extensa neste mês (Figs. 5.21a, 5.20a). Um cavado anômalo a leste do NEB destaca a presença do cavado de ar superior no Atlântico. É importante observar que os anticiclones da África e Austrália-Oceania tiveram a mesma mudança vista na alta da Bolívia, ou seja, estão mais intensos (Figs. 5.21a, 5.20a). Além disso, a mudança na alta da Bolívia tem relação direta com o anticiclone anômalo situado ao norte da AS (Fig. 5.21b), uma circulação oposta àquela vista no mês anterior (Fig. 5.20b). No HN, há anticiclones anômalos na América do Norte e sudeste da Ásia (Fig. 5.21b). Ciclones anômalos são vistos no noroeste da África, sudoeste da Ásia e Pacífico.

O campo médio de abril de 2006 mostra sinais da estação de transição nos dois hemisférios (Fig. 5.22a). No HS, a circulação dos anticiclones continentais é fraca, exceto na Austrália-Oceania, onde ela se mostra mais intensa, em concordância com o campo das anomalias (Fig. 5.22b). No HN, a mudança mais evidente ocorreu na área da corrente de jato; apenas um núcleo de velocidade máxima permanece, embora enfraquecido, no leste da Ásia e

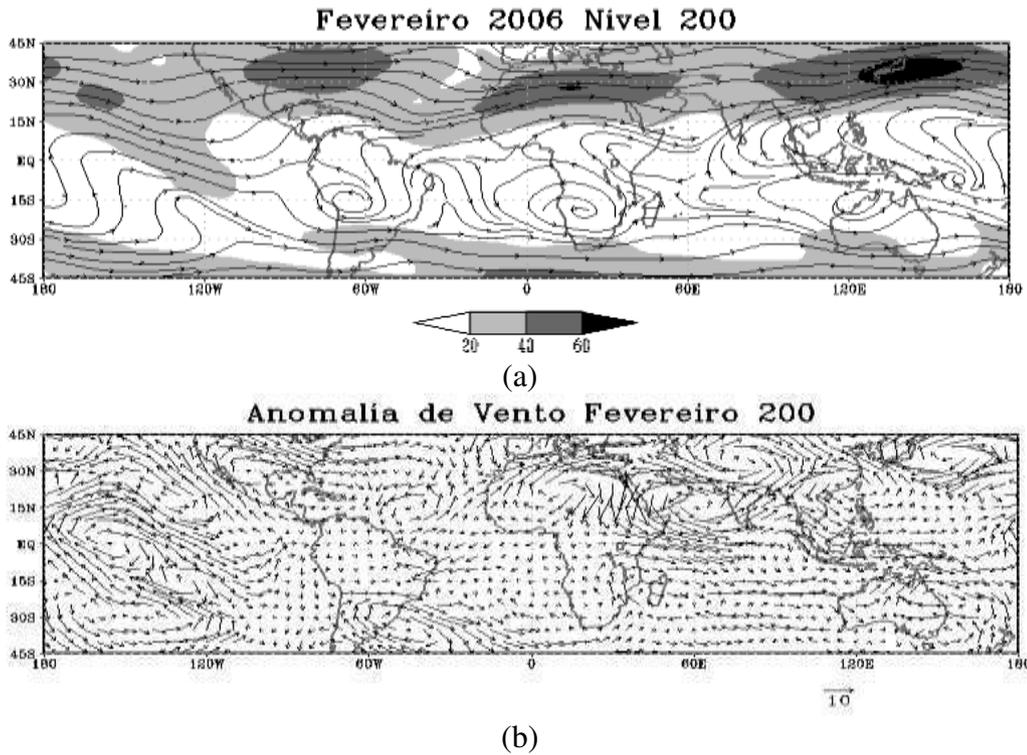


Figura 5.20: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para fevereiro de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

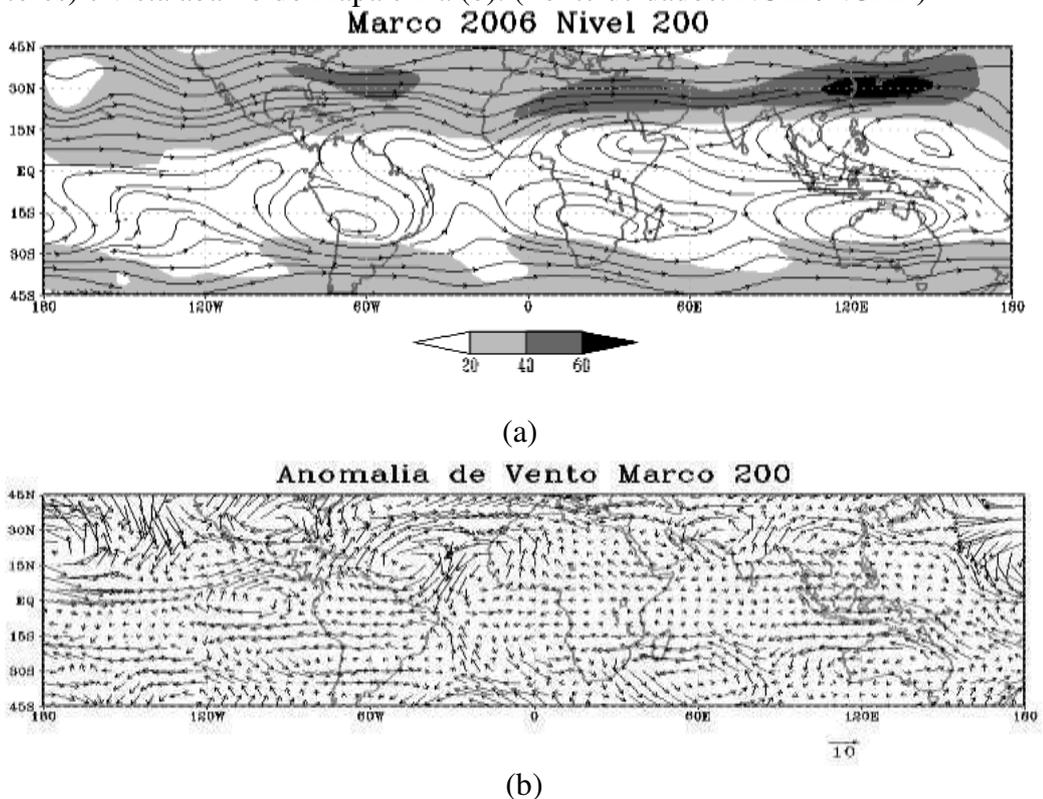


Figura 5.21: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para março de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

oeste do Pacífico. Em contrapartida, aumentou no HS a área ocupada por velocidades entre 20 e 40 m/s, nos três continentes, com máximo no sul da Austrália. O campo das anomalias volta a apresentar, na região da AS e Atlântico próximo, ao sul de 15°S, uma circulação ciclônica semelhante à configuração de fevereiro (Fig. 5.20b). Ainda no HS, outra anomalia ciclônica é vista na mesma faixa latitudinal no leste do Atlântico, a leste da África e a nordeste e sul da Austrália. Anomalias anticiclônicas são vistas ao sul de 30°S no Atlântico, Pacífico e Índico. No HN, permanece o anticiclone anômalo ao norte da AS. Outros anticiclones anômalos são vistos na América do Norte, noroeste da África, leste da Ásia e Pacífico, ao norte de 15°N. Há ciclones anômalos no Atlântico, Ásia central e leste do Pacífico, na mesma faixa latitudinal.

O campo médio de maio de 2006 já mostra as primeiras características do período de inverno do HS como o domínio dos ventos de oeste, inclusive em latitudes baixas (Fig. 5.23a). A área com velocidades entre 20 e 40 m/s atinge a latitude de 15°S em todo o hemisfério, com valores ainda maiores na Austrália e oeste e centro do Pacífico. No HN a área com velocidades entre 20 e 40 m/s está menor, enquanto que o anticiclone da Ásia está centrado no leste do continente. Na África, o anticiclone está centrado na costa oeste, entre o equador e 15°N. No campo das anomalias a circulação ciclônica sobre a AS e oceano próximo, ao sul de 15°S, permanece (mais intensa), enquanto que uma circulação anticiclônica domina o NEB e oceano próximo, uma indicação de difluência na alta troposfera. Na mesma faixa de latitude uma circulação horária atua no oeste da AS e oceano próximo. Há outros centros ciclônicos no hemisfério: no sul da África, no Índico, no oeste e leste do Pacífico. Centros anticiclônicos são vistos no oeste do Índico, no nordeste da Austrália e Pacífico próximo, e na área central do Pacífico. Na área do HN circulações anticiclônicas dominam o Atlântico Norte, o centro-oeste da Ásia e o oeste do Pacífico.

No campo médio de junho de 2006 (Fig. 5.24a) merece destaque a circulação anti-horária que domina toda a faixa equatorial sul, com centro no extremo oeste do Pacífico Equatorial, o anticiclone centrado na Ásia cuja circulação se estende sobre o norte da África, e o jato subtropical do HS, com máximo sobre a Austrália e o Pacífico. O campo das anomalias na área do Atlântico, ao sul de 15°S (Fig. 5.24b), apresenta um dipolo ciclone-anticiclone que reproduz parcialmente a configuração de abril (Fig. 5.22 b), enquanto que uma circulação anticiclônica domina a AS na mesma faixa de latitude. Circulações anticiclônicas bem configuradas são vistas no Índico, e na Austrália e oeste do Pacífico. No HN, centros anticiclônicos estão situados no leste e oeste da Ásia, Atlântico Norte e América do Norte.

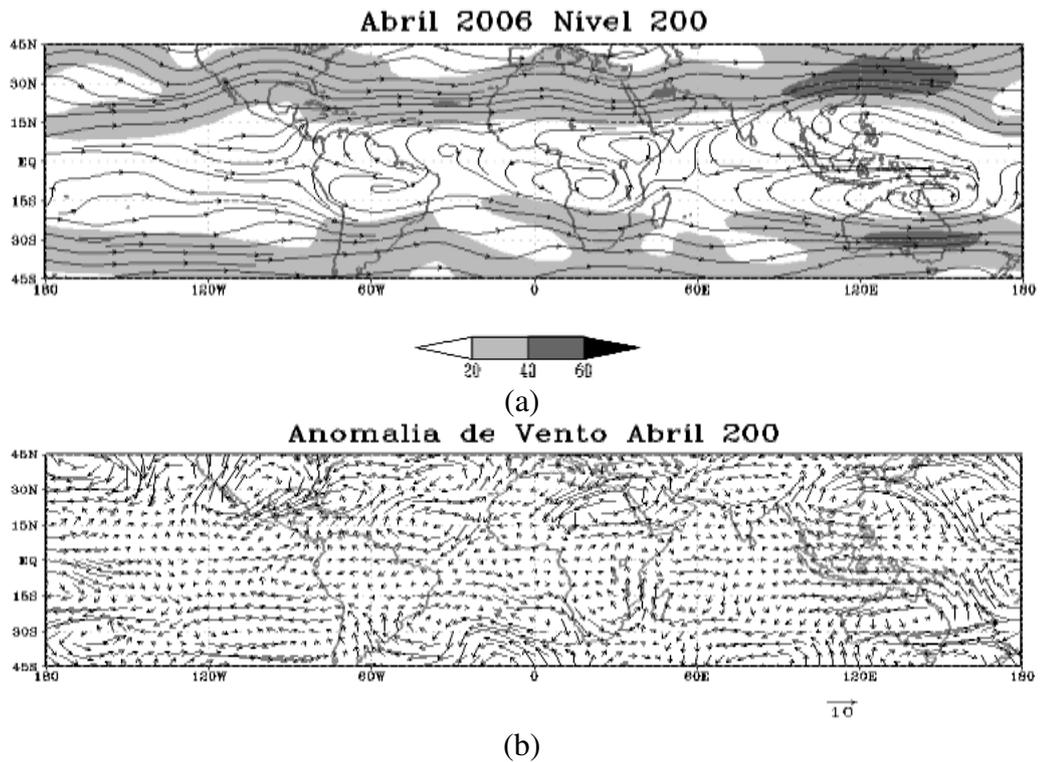


Figura 5.22: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para abril de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

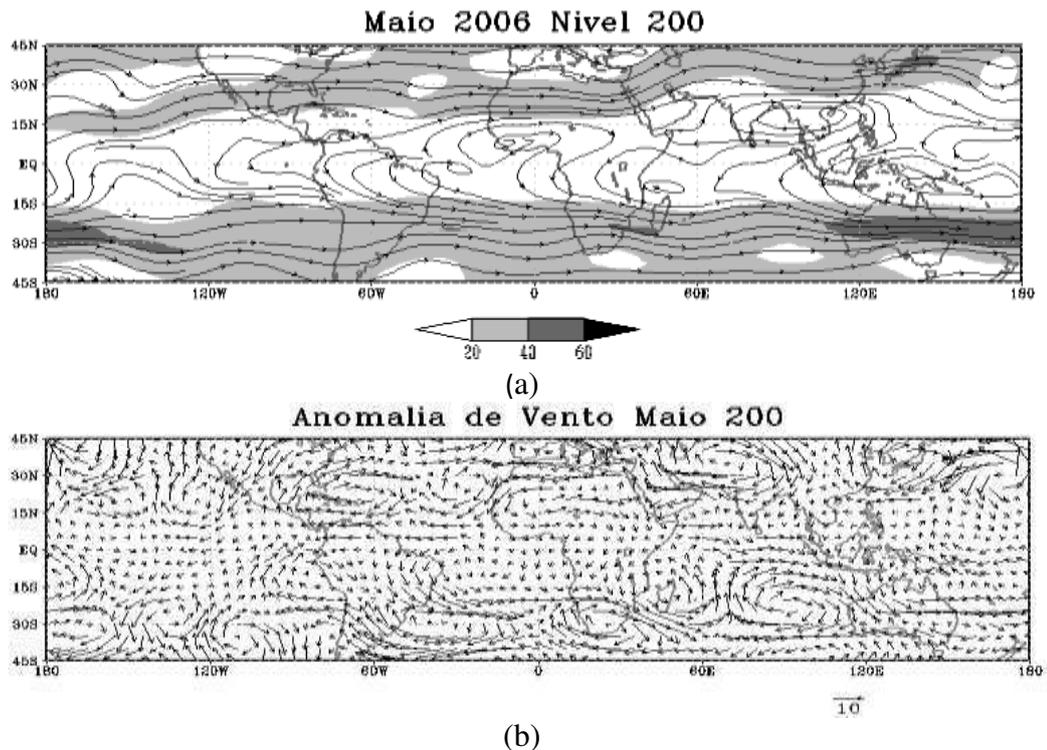


Figura 5.23: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para maio de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

Na configuração média de julho de 2006 é evidente o jato de leste tropical, típico do verão do HN, evidenciado por velocidades do vento entre 20 e 40 m/s no sul da Ásia, Oceano Índico e norte da África (Fig. 5.25a). No HS, a área de máxima velocidade do jato subtropical se estende do centro do Índico ao oeste do Atlântico. Na AS a área com velocidades entre 20 e 40 m/s se prolonga sobre o leste do NEB. O restante da configuração é muito semelhante à do mês anterior (Fig. 5.24a). No campo das anomalias dois centros influenciam a AS (Fig. 5.25b): um ciclônico, no norte, e outro anticiclônico, no sul, esse último presente com menor intensidade no mês anterior (Fig. 5.24b). Outro núcleo anticiclônico influencia o norte do NEB, onde ventos de noroeste intensos aparentemente contribuem para os ventos fortes no leste da região. No Atlântico, um ciclone atua ao sul de 15°S. Outros núcleos ciclônicos estão no oeste e leste do Pacífico. Um núcleo anticiclônico é visto a sudeste da África. No HN há um anticiclone anômalo no Pacífico.

Nos campos médios do vento no nível de 200 hPa há, na região da AS, de dezembro de 2005 a março de 2006, sistemas de circulação típicos do período de verão como o anticiclone (alta) da Bolívia e o cavado do Atlântico Sul, embora com posição diferente da climatologia em alguns meses, conforme destacado na subseção 4.4.4. Esses sistemas também são vistos em abril, embora enfraquecidos. A partir de maio, a faixa latitudinal entre o equador e 15°S, na área da AS, Atlântico e África é dominada por circulação anticiclônica, um indicativo de divergência de massa na alta troposfera, fator favorável ao desenvolvimento de convecção.

Outro aspecto importante, observado no decorrer dos meses, é o gradual aumento da velocidade do vento nessas áreas. Na AS a velocidade do vento atinge valores acima de 20 m/s, inclusive em latitudes menores do que 15°S, a partir do mês de maio. No campo das anomalias do quadrimestre AMJJ as principais características são: (a) ao sul de 15°S, a circulação ciclônica situada no leste da AS e área oceânica próxima, nos meses de abril, maio e junho, e (b) sobre o NEB, os fortes ventos de norte-noroeste em maio e oeste-noroeste em julho.

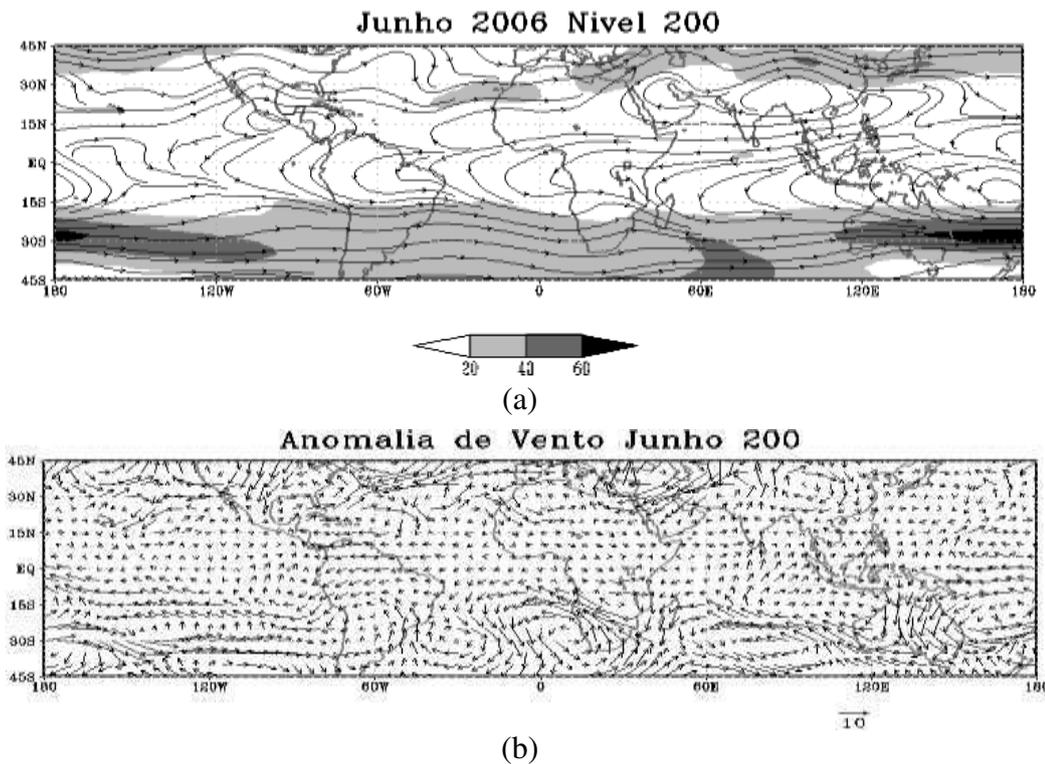


Figura 5.24: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para junho de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

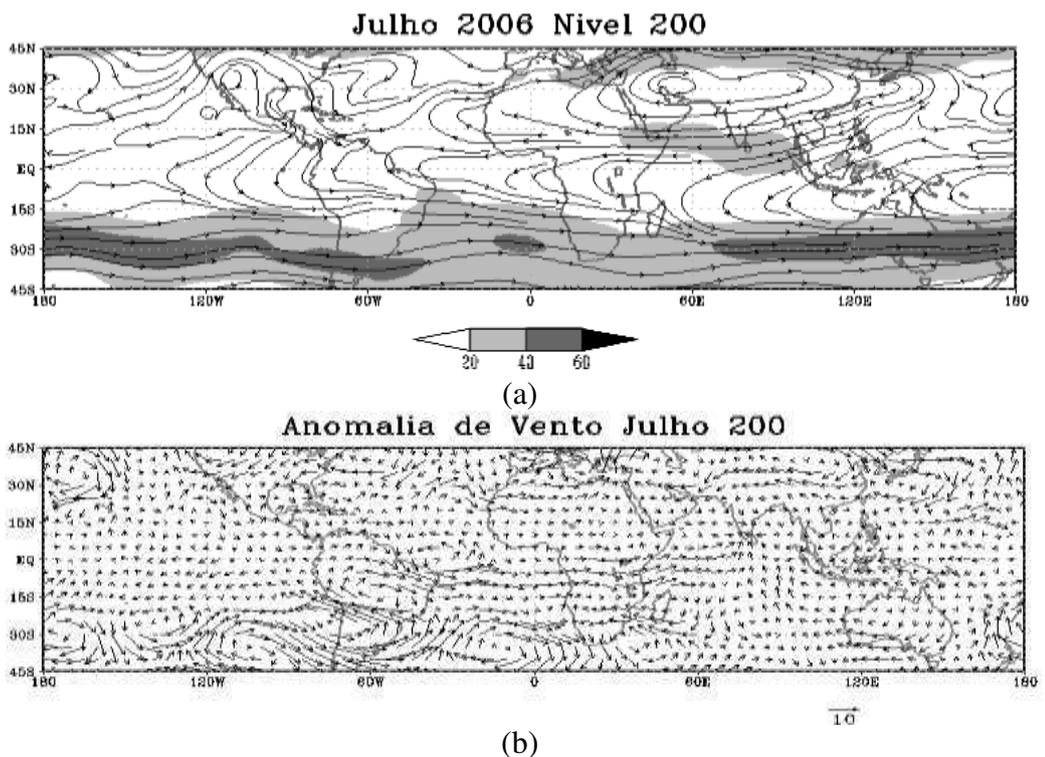


Figura 5.25: (a) Linhas de corrente e velocidade (m/s) do vento médio em 200 hPa para julho de 2006, e (b) anomalia (m/s) em relação à média de 1979-2010. A escala de cinza (dos vetores) é vista abaixo do mapa em a (b). (Fonte de dados: NCEP/NCAR)

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

Os totais pluviométricos registrados em abril e junho de 2006 em Salvador, correspondentes a 189,7% e 164,8% da normal climatológica, respectivamente, e o elevado número de ocorrências registrado pela Defesa Civil da cidade, foram a principal motivação para a realização deste trabalho no qual foi analisada a circulação atmosférica de grande escala para o período de dezembro de 2005 a julho de 2006.

A análise dos campos médios mensais da pressão ao nível médio do mar mostra um cavado invertido de pequena amplitude na área costeira leste do Nordeste e Atlântico próximo, no quadrimestre chuvoso (abril a julho), o que indica convergência de massa, uma condição favorável à precipitação. Essa estrutura também é encontrada no campo médio do vento em 850 hPa, em abril e maio. Ao sul desse cavado, na área subtropical do Atlântico, há um cavado no escoamento de oeste, um resultado que sugere uma interligação entre sistemas de circulação tropical e extratropical.

Os campos médios do vento em 200 hPa mostram ventos de oeste com velocidade acima de 20 m/s na área subtropical da América do Sul no período de estudo, e que se estendem ao norte de 15°S nos meses do quadrimestre chuvoso. Em particular, a partir de maio esses campos mostram circulação anticiclônica sobre o Nordeste, uma condição de divergência de massa favorável ao desenvolvimento de nuvens.

Na análise das anomalias o mês de abril se destaca por apresentar pressão abaixo da média e circulação ciclônica no nível de 850 hPa (convergência de massa anômala na baixa troposfera), no leste do Nordeste e área oceânica próxima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. M. B; REPELLI, C. A. A Variabilidade pluviométrica no setor Norte do Nordeste e os eventos El Niño - Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.7(2), p.583-592, 1992.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Tropical Pacific and South Atlantic effects on rainfall variability over northeastern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1895-1912, 2006.

ARAGÃO, J. O. R. **Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil**. 1975. 219 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1975.

BARRETO, A.B. **Eventos extremos de chuva em Salvador: Uma abordagem matemático-estatística do ambiente atmosférico**. 2012. 139 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

BARRETO, A. B.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; SANTOS, A. H. M. Uma investigação sobre eventos intensos de chuva na cidade de Salvador, Bahia. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, São Paulo. **Anais eletrônicos...SBMET**. 1 CD-ROM, 2008.

BASTOS, C. C.; FERREIRA, N. J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, Rio de Janeiro, 2000. **Anais eletrônicos...** 2000. p. 612-619. CD-ROM. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1915/2005/03.15.19.20>>.

BRABO, J.M; REPELLI, C.A; MELLO, N.S. A pré-estação chuvosa do setor norte do nordeste brasileiro e sua relação com a temperatura dos oceanos adjacentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.8 (1): p. 22-30, 1993.
CALHEIROS, A. J. P.; MOLION, L. C. B. Reanálise da seca de 1992-1993 no nordeste do Brasil com ênfase no estado de alagoas. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE

METEOROLOGIA, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza, 2004. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/22dfa4c3_643abd78c_04a2fe92b0c06858a.doc>. Acesso em 28 de março de 2011.

CARVALHO, L.M.V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17: p. 88–108, 2004.

CAVALCANTI, I.F.A; FOLLAND, V.K.; COLMAN, A.W. Note on ‘‘Predictability of Northeast Brazil Rainfall and Real-Time Forecast Skill, 1987–98’’. **American Meteorological Society**, v. 15, p. 1993-1996, 2002.

CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N.J; SILVA DIAS, M. A. F.; SILVA, M.G.A.J. **Tempo e Clima no Brasil**, p. 463. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CHAVES, R. R.; CAVALCANTI, I. F. A. Atmospheric Circulation Features Associated with Rainfall Variability over Southern Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 129, p. 2614-2626, 2001.

CHAVES, R. R. **Variabilidade da precipitação na região sul do Nordeste e sua associação com padrões atmosféricos**. 1999. 159 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

CLIMANÁLISE. Cachoeira Paulista-SP: INPE/CPTEC, 2005-2006. Mensal. Boletim de Monitoramento e Análise Climática. ISSN 0103-0019 CDU-555.5.

CODESAL - Defesa Civil de Salvador. **Operação Chuva 2006**: relatório final. Salvador, 2006. 47 p. (Acesso em: 17 de novembro de 2007 no endereço eletrônico <http://www.defesacivil.salvador.ba.br>)

DURAND, B.; SERVAIN, J.; LAURENT, H.; MACHADO, L. A.T. Fluxo de calor latente no Atlântico Tropical, convecção sobre o Nordeste e a Rede Pirata. **Anais eletrônicos... XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Fortaleza, Brasil, Sociedade Brasileira de Meteorologia, CD-ROM, 2004.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, p. 77-92, 1977.
IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Portal Cidades. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm1>>. Consultado em: 10 de abril de 2010.

KALNAY,E; KANAMITSU,M; KISTLER,R; COLLINS,W; DEAVEN,D; GANDIN,L; IREDELL,M; SAHA,S; WHITE,G; WOOLLEN,J; ZHU,Y; CHELLIAH,M; EBISUZAKI,W; HIGGINS,W; JANOWIAK,J; MO,K.C; ROPELEWSKI,C; WANG,J; LEETMAA,A; REYNOLDS,R; JENNE,ROY; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. **Bulletin of American Meteorological Society**, v.77, n° 3, p. 437-471, March, 1996.

KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, p.488-498, 1980.

KOUSKY, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, p.1140-1153, 1979.

KNUTSON, T. R., E K. M. WEICKMANN. 30-60 day atmospheric oscillations: composite life cycles of convection and circulation anomalies. **Monthly Weather Review**, v. 31, p.1407-1436, 1987.

LEITE, J. O. Dinâmica do uso da terra. Rio de Janeiro, Convênio IICA/CEPLAC. **Diagnóstico sócio-econômico da Região Cacaueira**, v. 3, p. 280, 1976.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; ALLURED, D.; VERA, C. S.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V.; BLADÉ, I.; GONZÁLES, P. L. M. Mechanisms Associated with Large Daily Rainfall Events in Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 24, p.376–396, 2011.

MENDONÇA, F.; **Climatologia: Noções Básicas e Climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory, and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, p. 2653-2675, 1981.

MOURA, B.A.G.; ARAGÃO, J. O. R.; LACERDA, F.F.; MELO, J. S. P.; SILVA, A. P. N.; GIONGO, P. R.; LACERDA, F. F. Relação entre a precipitação do Leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.462-469, 2009.

NASCIMENTO, W. A.; BRITO, J. I. B.: Verificação da Atuação da Oscilação de 30-60 dias no Nordeste do Brasil. 2002, Foz de Iguaçu-PR. **Anais eletrônicos... XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz de Iguaçu-PR, 2002. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm/0e20102adcda2ec0e5213c565.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2011.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G.; Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 / DF: INMET, p. 465. ISBN: 978-85-62817-01-4, 2009.

RAO, V. B; LIMA, M. C.; FRANCHITO, S. H. Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v.6, p. 1754–1763, 1993.

SANTOS, A. H. M. **Eventos Extremos de Chuva em Salvador, Bahia: Condições Atmosféricas e Impactos Ambientais**. 2008. 65f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

SILVA, A.O; SILVA, A.P. N., MOURA, G.B.A; LOPES, P. M.O; MEDEIROS, S.R.R. Zoneamento Agroclimático da Pitangueira para três cenários distintos de precipitação pluvial em Pernambuco. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 104-115, 2011.

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

VITORINO, M. I.; KOUSKY, V. E.; SILVA DIAS, P. L. Analysis of atmospheric variability over northeast Brazil during the austral summer 2003-2004. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8., 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** 2006. v.1, p. 1225-1230.